Aus dem Institut für Veterinär-Physiologie, -Biochemie,
-Pharmakologie und -Toxikologie
des Fachbereichs Veterinärmedizin
an der Freien Universität Berlin

GONIOMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN DER LOKOMOTION VON HUNDEN MIT UND OHNE HÜFTGELENKSDYSPLASIE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades
eines Doktors der Veterinärmedizin
durch den Fachbereich Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Marion Workert
Tierärztin aus Hamburg

Berlin 1985
Journal-Nr. 1232

Aus dem Institut für Veterinär-Physiologie, -Biochemie,
-Pharmakologie und -Toxikologie
des Fachbereichs Veterinärmedizin
an der Freien Universität Berlin

GONIOMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN DER LOKOMOTION VON HUNDEN MIT UND OHNE HÜFTGELENKSDYSPLASIE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades
eines Doktors der Veterinärmedizin
durch den Fachbereich Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Marion Workert
Tierärztin aus Hamburg

Berlin 1985
Journal-Nr. 1232

Meinen Eltern in Dankbarkeit gewidmet

1. Einleitung

Die Erforschung der Physiologie und Pathophysiologie tierischer und menschlicher Bewegungen hat in unserem Jahrhundert durch die Entwicklung geeigneter Meßmethoden große Fortschritte gemacht. Dem Untersucher stehen heute, neben photographischen Methoden, zahlreiche biomedizinische Meßwandler für die Bewegungsanalyse zur Verfügung. Der Einsatz von Computern erleichtert die statistische Bearbeitung des meist umfangreichen Datenmaterials. Die Messung der Gelenkwinkel und deren Änderungen in der Bewegung (Goniometrie) wird im humanmedizinischen Bereich zur Diagnose und Therapiekontrolle von Gelenkerkrankungen eingesetzt. Die klinische Anwendung der Goniometrie in der Veterinärmedizin steht noch am Anfang. Die erste goniometrische Untersuchung am Hund wurde 1966 von ADRIAN, ROY und KARPOVICH durchgeführt. Die Registrierung der Gelenkwinkel erfolgte mit Hilfe von Potentiometern. Für die Methode der potentiometrischen Winkelmessung hat sich in der Literatur die Bezeichnung "Elektrogoniometrie" durchgesetzt. Durch die potentiometrische Winkelaufzeichnung besteht die Möglichkeit einer objektiven Analyse der Gelenkbewegungen ohne aufwendige photographische Bewegungsregistrierung.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist einmal die Untersuchung der Genauigkeit einer einfachen elektrogoniometrischen Methode am Hund und zweitens soll geklärt werden, ob mit dieser Methode Besonderheiten der Lokomotion von Hunden mit Hüftgelenksdysplasie (HD) nachgewiesen werden können.

In der Literatur über die Hüftgelenksdysplasie wird immer wieder auf die geringe Korrelation zwischen dem Auftreten von Bewegungsstörungen und den röntgenologisch erkennbaren Veränderungen im Hüftgelenk hingewiesen; d.h. es werden Hunde beschrieben, die trotz schwerer Veränderungen im Hüftgelenk keinerlei klinische Symptome zeigen. Häufig wird aber auch von Tieren mit deutlichen Bewegungsstörungen berichtet, die im Röntgenbild nur geringe Anzeichen auf Hüftgelenksdysplasie

erkennen lassen. Solche Tiere mit geringen, röntgenologisch sichtbaren Veränderungen könnten durch eine zusätzliche Bewegungsuntersuchung unter Umständen besser als HD-belastet erkannt werden, als durch eine einmalige Momentaufnahme der Hüftgelenke aus nur einer Ansicht. Die röntgenologische Diagnose stößt, obwohl sie zur Zeit allgemein als das beste Verfahren angesehen wird, im Bereich geringer Veränderungen an die Grenze ihrer Möglichkeiten. Zwischen der eindeutigen Dysplasie und normalen Hüftgelenken gibt es fließende Übergänge (MÜLLER u. SAAR 1966), so daß die Beurteilung bei geringen Anzeichen auf HD häufig problematisch ist. Die Tatsache, daß z.B. bei der Rasse Deutsch-Drahthaar die Mehrzahl der mit "HD-Verdacht" beurteilten Hunde aus HD-belasteten Linien stammen und die Beobachtung, daß viele dieser Hunde auffällig laufen, gaben den Anstoß für diese Untersuchung.
Für Lahmheiten bei Hunden mit Hüftgelenksdysplasie kommen zwei mögliche Ursachen in Betracht: Schmerzen oder mechanische Behinderung im Hüftgelenk. Mechanische Behinderungen kommen erst im fortgeschrittenen Stadium der sich i.d.R. entwickelnden sekundären Arthrose vor; diese Gelenke machen bei der Röntgenuntersuchung keine Probleme. Die Schmerzhaftigkeit hängt vom Zustand der Gelenke ab. Der einzige sensibel innervierte Anteil des Gelenks ist die Gelenkkapsel (BUDRAS u. FRICKE 1983). Als mögliche Ursache für Schmerzen kommen also entzündliche Vorgänge oder Dehnungen und Zerrungen der Gelenkkapsel in Frage. Ein instabiles Gelenk muß zunächst durch Dehnung der Gelenkkapsel Schmerzen verursachen, solange bis die, sich als Reaktion darauf verstärkende Kapsel, diese Dehnung einschränkt. Auf diese schmerzhafte Phase kann ein mehr oder weniger langes symptomenarmes Intervall folgen, wenn die entzündlichen Vorgänge noch ausbleiben. Durch die Inkongruenzen der Gelenkflächen kommt es jedoch früher oder später zu mechanischen Alterationen des Gelenkknorpels mit Abrieb und Einrissen, die eine reaktive Synoviitis auslösen (DÄMMRICH 1979). Die Geschwindigkeit dieser Entwicklung ist bei den einzelnen Tieren sehr unterschiedlich und abhängig

vom Grad der Instabilität, der Beanspruchung der Hüftgelenke und der Bemuskelung der Hinterhand. Bei Tieren mit geringen Instabilitäten dürfte die frühe Schmerzphase durch Dehnung der Gelenkkapsel viel länger andauern als bei schweren Dysplasien, da ja seltener und weniger intensiv auf die Gelenkkapsel eingewirkt wird. Unter Umständen kommt es überhaupt nicht zur Ausbildung einer sekundären Arthrose. Auch in der Anfangsphase der Arthrose ist der Röntgenbefund oft noch negativ. LUST und SUMMERS (1981) fanden bei Hunden mit erblicher Prädisposition für Hüftgelenksdysplasie noch vor röntgenologischen Anzeichen eine nicht-eitrige Synoviitis und örtliche Knorpeldefekte als frühes Zeichen einer degenerativen Gelenkerkrankung. Eine Synoviitis ist schmerzhaft und daher eine mögliche Ursache für Bewegungsstörungen. Die Zahl der Hunde mit nachweisbaren Bewegungsstörungen, die nach allgemeiner Auffassung gering ist, läßt sich möglicherweise durch eine objektiv messende Bewegungsanalyse gegenüber der reinen klinischen Beobachtung steigern.

2. Literaturübersicht

2.1. Die Hüftgelenksdysplasie

Unter der angeborenen Hüftgelenksdysplasie versteht man eine ein- oder beidseitige mangelhafte Entwicklung und Gestaltung des Hüftgelenks verschiedenen Grades (NIEBERLE u. COHRS 1970). NIEMAND (1980) definiert die HD als eine erbliche Veranlagung, die zu einer postnatalen Fehlentwicklung von Acetabulum und Femurkopf führt. Im Gegensatz zum Menschen läßt sich die Erkrankung bei Hunden zum Zeitpunkt der Geburt nicht nachweisen. Das erste Zeichen einer Dysplasie ist i.d.R. eine Instabilität in den Hüftgelenken (NORBERG 1965, RISER u. NEWTON 1981). Auf dem Nachweis der Instabilität beruhen die Frühdiagnosen bei Welpen im Alter von 1-2 Monaten (NORBERG 1965, BARDENS u. HARDWICK 1968). In der neueren Literatur besteht weitgehend Einigkeit darüber, daß ein mangelhafter Gelenkschluß den Ausgangspunkt für die bei der Hüftgelenksdysplasie typischen Veränderungen darstellt (LARSEN 1973, MASON 1976, MÜLLER 1979, OLSSON 1981, RISER u. NEWTON 1981). Gelenkkapsel, Lig. teres und die umgebende Muskulatur sind unfähig, die Kongruenz der Gelenkflächen zwischen Femurkopf und Acetabulum während der postnatalen Entwicklung des Gelenks herzustellen. Bei voller Kongruenz der Gelenkflächen entwickeln sich die Hüftgelenke normal (RISER u. NEWTON 1981).

Abhängig vom Ausmaß und der Dauer der Inkongruenz entwickeln sich verschiedene pathologisch-anatomische Erscheinungsbilder. Das Acetabulum ist mehr oder weniger stark abgeflacht. Der Femurkopf paßt nicht richtig in die Gelenkpfanne oder nimmt bei hochgradiger Abflachung des Acetabulum eine subluxierte bzw. luxierte Stellung ein. Die Inkongruenz der Gelenkflächen führt über Ernährungsstörungen des Knorpelgewebes zur sekundären Arthropathia deformans. Als Arthropathia deformans (Synonyma: Arthrosis deformans oder Arthrose) wird eine chronisch verlaufende progressive Erkrankung der Gelenke bezeichnet, die durch Veränderungen des Gelenkknorpels, der

Struktur und Form der Gelenkflächen, der Gelenkkapsel und der Synoviabeschaffenheit gekennzeichnet ist (DÄMMRICH 1976). Die Veränderungen beginnen mit Knorpeldefekten. Weitere Zeichen der Arthropathia deformans sind, je nach Progressionsstadium: Subchondrale Destruktion, Mikrofrakturen, Entrundung des Femurkopfes, Knochenappositionen im Bereich der Fossa acetabuli und an den Ansatzstellen der Gelenkkapsel, Auffaserung bzw. völliges Fehlen des Lig. teres. Abgestoßenes nekrotisches Knorpelgewebe kann eine chronisch-rezidivierende Synoviitis auslösen (SCHEBITZ u. ZEDLER 1961, DIETZ 1975, DÄMMRICH 1976).

Über die Ursachen der Instabilität der Hüftgelenke besteht noch keine Klarheit. Viele Untersuchungen bestätigen die Erblichkeit der Erkrankung. Bei Paarungen von HD-positiven Elterntieren entwickeln deutlich mehr Nachkommen ebenfalls Hüftgelenksdysplasie als bei der Paarung HD-freier Tiere (SCHALES 1957, SNAVELY 1959, BÖRNFORS et al. 1964, HENRICSON 1967, KAMAN u. GOSSLING 1967, VAN DER VELDEN 1971, ZUSCHNEID 1977). Allgemein wird heute ein polygener Vererbungsmodus angenommen, d.h. an der Ausprägung des Merkmals sind mehrere Gene beteiligt.

Eine Reihe von Autoren liefert Hinweise für eine Störung des Östrogenstoffwechsels bei Hüftgelenksdysplasie (MANSSON u. NORBERG 1961, PIERCE et al. 1965, PIERCE u. BRIDGES 1967, PAATSAMA et al. 1968, GUSTAFSSON 1969, GUSTAFSSON et al. 1972). Ein chronischer Hyperöstrogenismus oder eine verminderte Fähigkeit biologisch aktives Östradiol zu metabolisieren bei den Hunden mit Hüftgelenksdysplasie wird für eine Erschlaffung der Gelenkbänder verantwortlich gemacht.

Für einen mangelhaften Schluß durch einen ungenügenden Druck der Beckenmuskulatur sprechen die Untersuchungen von RISER u. SHIRER (1967). Sie fanden bei Rassen mit großer Verbreitung der Hüftgelenksdysplasie eine relativ geringere Beckenmuskelmasse als beim Greyhound, wo die HD nicht vorkommt.

Nach RISER u. NEWTON (1981) führt eine hohe Wachstumsrate durch Zurückbleiben der Muskelentwicklung hinter der Skelettreifung zur Gelenkinstabilität.
Außerdem erhöht ein excessives Körpergewicht des jungen Hundes das Risiko einer Überlastung der weichen Gewebe und des unreifen Skeletts (RISER u. LARSEN 1974, MASON 1976, DÄMMRICH 1979). Daher ist die Überfütterung des wachsenden Hundes als ein die Entwicklung der HD begünstigender Faktor anzusehen (WIENRICH 1973, HEDHAMMAR et al. 1974, KASSTRÖM 1975, LUST et al. 1978). HEDHAMMAR et al. (1974) sehen allerdings in ihren Versuchsreihen mit restriktiv und ad libitum gefütterten Doggen auch den erhöhten Calciumgehalt des Futters als Ursache für die beobachteten Wachstumsstörungen an.
Nach BARDENS u. HARDWICK (1968) verursachen Spasmen oder Verkürzungen des M. pectineus durch permanentes Herausziehen des Femurkopfes aus der Pfanne eine Abflachung des Acetabulumrandes und eine Gelenkslockerung. Sie durchtrennten den M. pectineus bei 4-8 Wochen alten Welpen, die auf Grund der palpatorischen Hüftgelenksuntersuchung als prädysplastisch erkannt worden waren, und meinten dadurch die Entwicklung der HD verhindert zu haben. CARDINET et al. (1969) fanden bei den von BARDENS u. HARDWICK beschriebenen Veränderungen des M. pectineus eine Hypothrophie der Muskelfasern vom Typ II, konnten aber keine Beziehung zwischen diesen Muskelveränderungen und Gelenkschlaffheit bzw. HD nachweisen. LUST et al. (1972) verglichen die Mm. pectinei von Hunden mit normalen und dysplastischen Hüftgelenken und fanden ebenfalls keinen kausalen Zusammenhang zwischen Abnormitäten des M. pectineus und der Hüftgelenksdysplasie.
Die unterschiedliche Verbreitung der HD in den verschiedenen Hunderassen drängt den Schluß auf, daß das Zuchtziel bei manchen Rassen das Auftreten der Erkrankung begünstigt. So wird die Zucht auf eine stark gewinkelte Hinterhand mit flacher Beckenneigung, wie sie besonders extrem beim Deutschen Schäferhund betrieben wird, von einigen Autoren als prädisponierender Faktor angesehen (KAMAN u. GOSSLING 1967, WOLF 1972, SCHLAAF 1975). WOLF (1972) fand bei Deutschen

Wachtelhunden mit schwerer HD eine flachere Beckenneigung als bei gesunden Hunden dieser Rasse. Eine flache Beckenstellung soll eine Fehlbelastung des Acetabulum zur Folge haben. SCHLAAF (1975) macht zusätzlich noch auf die stärkere Verbreitung der HD in den Rassen mit großer Hinterhandbelastung aufmerksam. RISER und LARSEN (1974) stellen eine Liste der phänotypischen Merkmale auf, die Rassen mit geringer und hoher HD-Häufigkeit kennzeichnen. Danach ist die HD besonders bei großen, fetten, frohwüchsigen und frühreifen Typen mit weichen Bändern und Sehnen, loser, dicker und faltiger Haut, groben Knochen, ungenügender Muskulatur und schwerfälligem, schlecht-koordiniertem Gang zu finden.
Nach SCHUBERTH (1980) spielt auch die Schilddrüsenaktivität in der Ätiologie der HD eine Rolle. Er fand bei Hunden mit Hüftgelenksdysplasie eine hypothyreote Stoffwechsellage.
Der Einfluß von Bewegung ist umstritten. Durch Haltung von genetisch prädisponierten Junghunden in kleinen Käfigen, in denen sie gezwungen sind, die meiste Zeit sitzend zu verbringen, kann die Entwicklung der für die HD typischen Veränderungen der Hüftgelenke verhindert werden (RISER 1963, 1974). LUST et al. (1973) stellten keinen Einfluß einer verminderten Bewegung auf die Entwicklung der Hüftgelenksdysplasie fest. Nach DIETZ (1975) stellen Traumen ein aktivierendes Moment dar; durch die übermäßige Bewegung des jungen Hundes ist daher ein die Hüftgelenksdysplasie fördernder Einfluß denkbar.
Die Diagnose erfolgt zur Zeit durch Röntgenuntersuchung der Hüftgelenke in zwei Positionen. Eine endgültige Beurteilung ist erst nach Abschluß des Knochenwachstums möglich. Für die meisten Hunderassen wird daher zum Zeitpunkt der Untersuchung ein Mindestalter von einem Jahr gefordert, für einige große Rassen eineinhalb Jahre (BRASS et al. 1978). Die Röntgenaufnahme erfolgt am sedierten Hund in Rückenlage im ventrodorsalen Strahlengang. In Position I werden die Hinterextremitäten im Hüft- und im Kniegelenk maximal gestreckt und

soweit eingedreht, daß sich die Kniescheiben in die Rollfurchen projizieren. Die Oberschenkelknochen müssen parallel und das Becken symmetrisch gelagert sein. Die Notwendigkeit einer zweiten Aufnahme in gebeugter und abduzierter Stellung der Hinterextremitäten wird nicht von allen Untersuchern anerkannt. Unkorrekte Lagerung, vor allen Dingen die Verkantung des Beckens, können zu falschen Beurteilungen führen (HARTUNG 1966, MÜLLER u. SAAR 1966, SCHNEPF 1976, LOEFFLER 1979, MÜLLER 1979).

Die unterschiedlichen röntgenologisch erfaßbaren Erscheinungsbilder der Hüftgelenksdysplasie werden in vier Grade eingeteilt: Übergangsform (verdächtig für HD), leichte HD, mittlere HD und schwere HD (BRASS et al. 1978).

In der vorliegenden Arbeit werden ausschließlich Deutsch-Drahthaarige Vorstehhunde untersucht. Die HD-Häufigkeit liegt bei dieser Rasse in der Bundesrepublik Deutschland und Nordamerika nach 2800 beurteilten Röntgenaufnahmen bei 16 - 17 % (ZUSCHNEID persönl. Mitteilung 1984). Dabei handelt es sich in der Mehrzahl um leichte HD-Fälle, während die mittelschwere und schwere HD mit ca. 2 % kaum in Erscheinung tritt. Bewegungsstörungen werden i.d.R. nicht erkannt und die kranken Tiere sind im Jagdbetrieb einsetzbar. Am häufigsten sind Klagen über frühzeitiges Ermüden der Hunde.

In der Literatur wird von allen Untersuchern betont, daß zwischen den klinischen Symptomen und den röntgenologisch festgestellten Veränderungen am Hüftgelenk häufig eine geringe Korrelation besteht; d.h. trotz schwerer Befunde an den Hüftgelenken können die Tiere in ihrer Bewegungsweise unauffällig sein und ohne Schwierigkeiten z.B. Ausdauerprüfungen ablegen. Auf der anderen Seite wird auch von Hunden berichtet, die bei geringen röntgenologisch erkennbaren Erscheinungen starke Lahmheiten zeigen.

Folgende klinische Symptome, die bei der HD beobachtet werden können, werden häufig genannt:

- zögernder, schwankender und steifer Gang
- Schwierigkeiten beim Aufstehen, Setzen oder Hinlegen
- stärkere Lahmheit nach Ruheperioden
- schnelle Ermüdung
- Schmerzen bei Abduktion der Hintergliedmaßen
- hahnentrittähnlicher Gang
- Muskelathrophie im Bereich von Becken und Oberschenkeln
- Nachhandschwäche
- unkoordinierte Bewegungen der Hinterhand

(NORBERG 1965, MAHNIG 1968, JENNY-GREDIG 1970, SCHWARZ 1971, SCHNEPF 1976, SCHUBERTH 1980).

SNAVELY (1959) erwähnt einen "Zahnradgang" ohne ihn näher zu beschreiben. Einige Autoren nennen eine Verkürzung der Schrittlänge der Hinterextremitäten (SCHWARZ 1971, LEACH et al. 1977, SCHUBERTH 1980). ROY (1971) und LEACH et al. (1977) beschreiben Symptome, die auf einer Verlagerung des Körperschwerpunkts nach vorn beruhen. Während LEACH et al. bei einem Bernhardiner mit Hüftgelenksdysplasie eine Erhöhung der Schrittweite der Vordergliedmaßen feststellten, was eine Senkung der vorderen Körperpartie bewirkte, beobachtete ROY eine Gewichtsverlagerung nach vorn durch Verkürzung der vorführenden Schrittphase der Vordergliedmaßen und Verlängerung der rückführenden. Beide Autoren erwähnen auch eine gesenkte Kopfhaltung bei schmerzhaften Defekten der Hinterhand.

Hinsichtlich des zeitlichen Auftretens und der Ursache von Bewegungsstörungen muß man die Symptome bei jungen Hunden von denen auf die sekundäre Arthrose zurückzuführenden bei älteren Tieren unterscheiden. Bei starken Dysplasiegraden mit sehr flachem Acetabulum und subluxiertem bzw. luxiertem Femurkopf treten bereits im Alter von 5-7 Monaten klinische Symptome auf, die nicht auf eine Arthrose, sondern direkt auf die ungenügende Funktion des Hüftgelenks zurückzuführen sind (LOEFFLER 1964). Nach RISER und NEWTON (1981) treten bei jungen Hunden mit schwerer Dysplasie Schmerzen in der Hinterhand plötzlich im Alter von 5-8 Monaten auf, wenn am dorsalen Pfannenrand Mikrofrakturen erscheinen. Diese

Frakturen sind röntgenologisch nicht erkennbar, da sie hinter dem Femurkopf verdeckt liegen. Sie entstehen durch Überlastung bestimmter Knorpelbereiche des Acetabulum und des Femurkopfes bei Subluxationsstellung. Die Ursache der Schmerzen ist eine Zerrung und Spannung der Periostnerven. Nach Heilung der Frakturen klingen die Beschwerden wieder ab. Ihrer Meinung nach laufen die meisten Hunde im Alter von 12-14 Monaten, unabhängig vom Grad der Dysplasie, einwandfrei. Auch andere Autoren berichten von vorübergehenden Schmerzen bei jungen Hunden (JOHNSTON 1966, MASON 1976).

Viele Untersucher sind der Meinung, daß erst durch die sekundäre Arthrose Beschwerden auftreten. Die Arthrose kann klinisch lange symptomlos bleiben. Sie ist durch einen schleichenden Beginn und einen häufigen Wechsel zwischen klinischer Aktivität und Inaktivität vor allem in den frühen Stadien gekennzeichnet (HACKENBROCH 1982). Typisch für den Arthroseschmerz ist das "Einlaufen", d.h. die Schmerzen werden einige Zeit nach Beginn der Bewegung erträglicher. Bei fortgesetzter Beanspruchung steigt der Schmerz allerdings wieder an. Nach Modellvorstellungen von OTTE (1969, 1974 zit. nach HACKENBROCH 1982) erfolgt die Aktivierung der Arthrose durch den von Knorpelerosionen ausgehenden synoviitiserzeugenden Detritus. Im fortgeschrittenen Stadium kommt es zu Dauerschmerz und bleibender Bewegungseinschränkung. Nach RISER (1975) besteht in fortgeschrittenen Fällen der Hüftgelenksdysplasie, durch die Verstärkung der Gelenkkapsel, eine Einschränkung der craniocaudalen Beweglichkeit im Hüftgelenk von normal 110° beim anästhesierten Hund bis auf 45°. Diese Bewegungseinschränkung ist gewöhnlich bei der Lokomotion nicht zu bemerken, da die Beine normalerweise im Schritt nicht mehr als 45° schwingen (RISER 1975).

2.2. Die Lokomotion des Hundes

Die Fortbewegung aller vierbeinigen Tiere beruht auf dem gleichen Prinzip. Die vier Beine fußen, je nach Gangart, in einer bestimmten Reihenfolge vom Boden auf und ab, wobei auch der Bewegungsablauf an einer Gliedmaße sich nach einem bestimmten Rhythmus vollzieht. Die als Hebel arbeitenden Hintergliedmaßen entwickeln die Hauptschubkraft, während die immer stärker belasteten Vordergliedmaßen als Stütz- und federndes Auffangsystem der von den Hinterextremitäten übergebenen Last wirken. Die Vorhandbelastung liegt für die meisten Hunderassen zwischen 58 und 68 % des Körpergewichts (LARCHÉ 1962).

Die ersten Untersucher tierischer Bewegungen befassen sich hauptsächlich mit der Lokomotion des Pferdes. Erst MUYBRIDGE (Nachdruck 1957) berücksichtigt in seinem vielzitierten Standardwerk, in dem er die Bewegungsarten der Vierfüßer beschreibt und durch Serienaufnahmen von vielen Tierarten in der Bewegung dokumentiert, auch den Hund. SCHÄME (1926, 1932) stellt die Trab- und Galoppformen des Hundes ausführlich dar. Dabei weist er, ebenso wie vor ihm DU BOIS-REYMOND (1930), auf die vom Pferdegalopp unterschiedlichen Galoppformen des Hundes hin. SCHÄME erkannte die Bedeutung körperbaulicher Merkmale für die Bewegungsvorgänge und konstatierte beim Hund eine gegenüber dem Pferd größere Bewegungsvielfalt. Die Beziehungen zwischen dem Körperbau und den quantitativen Variationen in den symmetrischen Gangarten wurden später von HILDEBRAND (1968) genauer untersucht. Eine umfassende Darstellung der Lokomotion des Hundes geben HORN (1956) und BRANDENBURG (1957). Anhand von Filmaufnahmen eines deutschen Schäferhundes wurden hier erstmals auch die Bewegungen der einzelnen Gliedmaßen in den verschiedenen Bewegungsarten analysiert. Grundsätzlich unterscheidet man Geh- und Laufbewegungen. Die Gehbewegungen, dazu zählen der Schritt und der Paßgang, sind dadurch gekennzeichnet, daß der Körper in jedem Augenblick von zwei oder mehr Gließmaßen getragen wird.

Eine Phase des freien Schwebens fehlt (BRANDENBURG 1957). Die Laufbewegungen (Paßlauf, Trab und Galopp) sind durch das Vorherrschen von Zwei- und Einbeinstützen und das Auftreten von Schwebephasen charakterisiert. Nach SCHÄME (1926) und FISCHER (1957) kann eine Schwebephase im Trab auch fehlen. Die Reihenfolge, in der die vier Gliedmaßen ihre Einzelbewegungen durchlaufen, bezeichnet man als Fußfolge. Jede Gliedmaße fußt gegenüber der vorhergehenden mit einer bestimmten zeitlichen Differenz, der sogenannten Phasenverschiebung. Fußfolge und Phasenverschiebung sind für jede Bewegungsart typisch (HORN 1956). Innerhalb einer Gangart beeinflußt die Körpergeschwindigkeit alle räumlichen und zeitlichen Größen bei konstanter Fußfolge. So nimmt z.B. der prozentuale Anteil der Fußungsphase einer einzelnen Gliedmaße an der Gesamtzeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Fußungen der gleichen Gliedmaße (Bewegungsfolge) mit steigender Geschwindigkeit zugunsten der Schwingphase ab. Bei den Gehbewegungen entfallen i.d.R. weniger als 50 % der Bewegungsfolge auf die Fußungsphase, während es bei den Laufbewegungen mehr als 50 % sind (BRANDENBURG 1957, KOSUBEK 1962, HILDEBRAND 1968).

Die meisten Hunde müssen ihre Körperachse im Trab schräg zur Fortbewegungsrichtung stellen, um eine Interferenz der Hinterextremitäten mit den Vordergliedmaßen zu vermeiden. Der schräge Lauf des Hundes ist nach HORN (1956) nicht auf den Trab beschränkt. Das Auftreten und der Grad der potentiellen Interferenz hängt von der Geschwindigkeit und vom Körperbau ab (HILDEBRAND 1968).

Neben der quantitativen Analyse von Bewegungsabläufen mit Hilfe der Kinematographie wurden von mehreren Autoren die während der Lokomotion des Hundes von den Pfoten auf den Boden ausgeübten Kräfte gemessen (BARCLAY 1953, HUTTON et al. 1969, KIMURA u. ENDO 1972, ALEXANDER 1974). Elektromyographische und gelenkmechanische Untersuchungen liegen von NOMURA et al. (1966 a, 1966 b), TOKURIKI (1973 a, 1973 b) und WENTINK (1976, 1977) vor.

2.3. Goniometrie

Die Goniometrie, gleichbedeutend mit Winkelmessung, wird an Gelenken entweder statisch betrieben, d.h. der Untersucher prüft z.B. die maximal mögliche passive oder aktive Beugung eines Gelenks oder sie wird zur kinematischen Analyse der Bewegung eingesetzt. Die Kinematik beschreibt die Ortsveränderungen starrer Körper unter der Berücksichtigung der Faktoren Zeit, Geschwindigkeit und Beschleunigung. Sie ist eine unentbehrliche Voraussetzung zur Funktionsanalyse des Bewegungsapparates. Die Bedeutung der Gelenkwinkelmessung für die Physiologie der Bewegung zeigen z.B. die Untersuchungen von KRÜGER (1939) über den Galopp des Pferdes, der durch Gelenkwinkelmessung die unterschiedliche Beanspruchung der Gliedmaßen im Galopp nachwies.
Schon in den frühen chronophotographischen Bewegungsanalysen von MAREY (1894) werden die Ortsveränderungen der einzelnen Gliedmaßensegmente und die Winkeländerungen benachbarter Elemente dargestellt. Bei der Goniometrie mittels Kinematographie werden entweder Markierungen an den Gliedmaßenabschnitten angebracht, die dann in den einzelnen Phasen des Bewegungsvorganges mitphotographiert werden oder der Bewegungsablauf wird aus den gewonnenen Einzelbildern am Zeichentisch rekonstruiert. Letzteres Verfahren benutzte WALTER (1925), um den Bewegungsablauf an den freien Gliedmaßen des Pferdes im Schritt, Trab und Galopp darzustellen. In den elektromyographischen Arbeiten über die Lokomotion des Hundes von TOKURIKI (1973 a, 1973 b) und WENTINK (1976, 1977) werden die Gelenkwinkeländerungen ebenfalls kinematographisch ermittelt.
Die Gelenkwinkeländerungen während der Lokomotion können aber auch direkt gemessen werden. Dazu werden elektromechanische Wandler benutzt, die die Gelenkbewegung in ein elektrisches Signal umwandeln. Zur Verwendung kommen Widerstands-, Kapazitäts- und Induktionswandler und optische Methoden mit polarisiertem Licht oder Infrarotlicht. Für die Benutzung

von Widerstandswandlern, sogenannten Potentiometern, hat sich in der Literatur die Bezeichnung "Elektrogoniometrie" durchgesetzt. Dieser Begriff kann Anlaß zu Mißverständnissen geben, da er an andere Verfahren erinnert, z.B. an die Elektrokardiographie oder die Elektroencephalographie, bei denen biologische elektrische Erscheinungen gemessen werden.

PERSON und ROSCHINA (1957) waren die ersten, die einen variablen Widerstand zur Registrierung des Mechanogramms in einer elektromyographischen Untersuchung der Fingerbewegung verwendeten. P.V. KARPOVICH und G.P. KARPOVICH (1959) führten für die potentiometrische Winkelmessung die Bezeichnung Elektrogoniometrie ein und entwickelten ein Universalelektrogoniometer, das an jedem Gelenk eingesetzt werden kann. Seit der Entwicklung des ersten Elektrogoniometers (Elgon), welches nur an einem Gelenk und in einer Ebene verwendet werden konnte, sind weitere vielseitigere Typen entstanden. Die Potentiometer werden entweder einzeln mit ihren Armen proximal und distal des zu messenden Gelenks befestigt und registrieren dann nur ein Gelenk in einer Ebene (KARPOVICH und WILKLOW 1959, KARPOVICH et al. 1960, FINLEY u. KARPOVICH 1964, GOLLNICK u. KARPOVICH 1964, TIPTON u. KARPOVICH 1965, KLISSOURAS u. KARPOVICH 1967, ADRIAN et al. 1977) oder sie werden in Gestelle eingebaut, die außen z.B. an einer Extremität angebracht sind. In diesen Gestellen (exoskeletons) kann man mehrere Potentiometer so anordnen, daß die Gelenkbewegung dreidimensional registriert werden kann (JOHNSTON und SMIDT 1969, KETTELKAMP et al. 1970). Bei Parallelogrammgoniometern (z.B. LAMOREUX 1971) werden die Gelenkbewegungen den Potentiometern über ein parallelogrammartiges Verbindungssystem vermittelt. Diese Gestelle sind selbstausrichtend und können in zwei Ebenen gleichzeitig messen.

Beim Polgon (polarised-light goniometer) besteht das Meßsystem aus einem polarisiertes Licht aussendenden Projektor, zwei photoelektrischen Wandlern, die proximal und distal

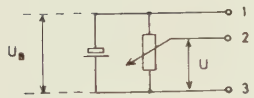
des Gelenks befestigt werden, einer Kontrolleinheit und einer Registriereinrichtung (CRANE ELECTRONICS 1976, GRIEVE et al. 1978).
Ebenfalls eine optische Methode zur Registrierung von Gelenkbewegungen ist das "Selspot System", welches mit Infrarotlicht arbeitet (STANIČ et al. 1977).
Die Aufzeichnung der Winkeländerungen während der Bewegung kann bei allen Methoden entweder gegen die Zeit erfolgen oder es können mit Hilfe eines X-Y Recorders Winkel/Winkel Diagramme registriert werden (GRIEVE 1969, CAVANAGH u. GRIEVE 1973). Letztere Technik berücksichtigt stärker die Interaktion benachbarter Gelenke und liefert im Fall pathologischer Gangarten auffälligere Abweichungen vom physiologischen Bild.
Die Elektrogoniometrie wurde bisher in zahlreichen Untersuchungen menschlicher und tierischer Bewegungen eingesetzt, z.B. zur Analyse sportlicher Betätigungen des Menschen (GOLLNICK u. KARPOVICH 1964, KLISSOURAS u. KARPOVICH 1967, SCOLNICK 1967, KONIAR 1968), zur Untersuchung der Gelenkaktion während des Gehens auf hohen Absätzen (GOLLNICK et al. 1964) oder in Cowboystiefeln (ADRIAN u. KARPOVICH 1964), zur Analyse physiologischer und pathologischer Bewegungsvorgänge (FINLEY u. KARPOVICH 1964, TIPTON u. KARPOVICH 1965, TAYLOR et al. 1966, JOHNSTON u. SMIDT 1969, KETTELKAMP et al. 1970) und zur Kontrolle therapeutischer Maßnahmen (RATZLAFF et al. 1979).
ADRIAN, ROY und KARPOVICH (1966) registrierten in einer elektrogoniometrischen Studie die normale Bewegung der Hüft-, Knie- und Sprunggelenke des Hundes im Schritt und im Trab. Ihre Messungen betreffen nur die sagittale Ebene. Aus dem Jahre 1976 stammt eine Untersuchung der Physiologie der Schultergelenksbewegung des Hundes in drei Ebenen (KINZEL et al. 1976). Elektrogoniometrische Analysen pathologischer Gangarten gibt es bis jetzt nur vom Menschen und vom Pferd (ADRIAN et al. 1977, RATZLAFF et al. 1979, RATZLAFF et al. 1982). In den meisten Arbeiten wird die potentiometrische Winkelmessung durch kinematographische Aufnahmen ergänzt.

Die Genauigkeit der Elektrogoniometrie hängt maßgeblich vom Grad der Übereinstimmung der Goniometerachsen mit dem Zentrum der Gelenkrotation ab. KETTELKAMP et al. (1970) sehen für ein dreidimensionales Elektrogoniometer zur Messung der Kniegelenksbewegung den entscheidenden, die Genauigkeit limitierenden Faktor in der Instabilität durch die weichen Gewebe über den Knochenpunkten, die zur Ausrichtung der Goniometerachsen dienen. KARPOVICH, HERDEN u. ASA (1960) haben am Menschen die potentiometrische Winkelmessung mit zwei anderen Methoden verglichen, um ihre Zuverlässigkeit und Objektivität zu überprüfen. Am Kniegelenk wurden ein Elgon, ein Handwinkelmesser und zwei Stahlruten eingesetzt. Die Ergebnisse der elektrogoniometrischen Messung lagen zwischen denen der beiden anderen Methoden, was die Autoren zu der Schlußfolgerung führte, durch die Elektrogoniometrie könne der "wahre" Winkel am besten festgestellt werden. Die Zuverlässigkeit des Elektrogoniometers, bei Anwendung durch denselben Tester, war nach diesen Untersuchungen hoch. Die mittlere Abweichung von Test und Retest lag unter einem Grad. JOHNSTON und SMIDT (1969) und KETTELKAMP et al. (1970) fanden ebenfalls einen hohen Korrelationskoeffizienten für wiederholte Messungen nach erneuter Anbringung des Goniometers.

3. Eigene Untersuchungen

3.1. Methode

Bei insgesamt 18 Deutsch-Drahthaar Vorstehhunden wurden gleichzeitig die Gelenkwinkeländerungen der Hüft-, Knie- und Sprunggelenke beider Hinterextremitäten in der sagittalen Ebene während der Bewegung im Schritt und im Trab registriert und mit einem UV-Schreiber fortlaufend gegen die Zeit aufgezeichnet. Die Gelenkwinkeländerungen wurden mit Hilfe von Potentiometern, die an den Tieren angebracht waren, ermittelt. Der potentiometrischen Winkelmessung liegt folgendes Prinzip zugrunde: Das Potentiometer ist ein kreisförmiger Schiebewiederstand. Je nach Stellung des Schleifers auf dem Widerstand wird ein Teilbetrag der Gesamtspannung abgegriffen. Sind Schleifer und Widerstandsgehäuse jeweils mit festen Armen verbunden, so entspricht der Winkel zwischen den Armen einem bestimmten Spannungsabgriff am Potentiometer.



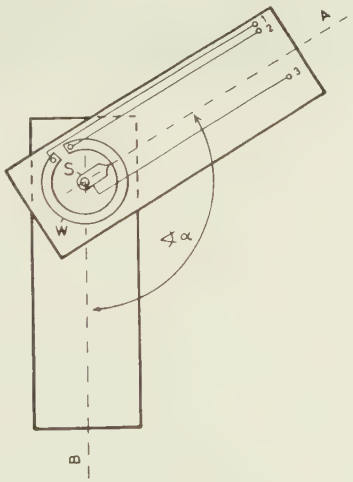


Abb. 1: Prinzip der potentiometrischen Winkelmessung

$\sphericalangle\alpha$ = Winkel zwischen den Achsen A und B.
W = Widerstand. S = Schleifer.
U_B = Betriebsspannung
U = Am Potentiometer abgegriffene Spannung

Die Beziehung zwischen Winkel und Spannungsabgriff ist bei den hier verwendeten Potentiometern linear. Ist ein Potentiometer über dem Drehpunkt eines Gelenkes befestigt und liegen die Arme parallel zu den gelenkbildenden Knochen, so stellt es Gelenkwinkeländerungen als Spannungsänderungen dar.
In der vorliegenden Untersuchung wurden Eingang-Präzisions-Ringpotentiometer mit drahtgewickeltem Widerstandselement verwendet (Firma: Amphenol-Tuchel, jetzt Litton Servotechnik; Typ: 32221, 320° mit Stop, Widerstandswert 200 Ω ± 5 %, Linearitätstoleranz ± 0,5 %). Die in Vorversuchen benutzten Kohleschichtpotentiometer nutzten sich bei der Messung am Hund schnell ab. Die mechanische Belastbarkeit der Drahtwendelpotentiometer erwies sich ebenfalls zunächst als nicht ausreichend für längere Messungen. Nach Beschichtung der Wendel mit Vaseline konnte dieser Mangel behoben, d.h. die Lebensdauer der Potentiometer wesentlich verlängert werden.

Zur korrekten Lagerung und Fixierung der Potentiometer am Hund wurde ein Gestell aus Aluminium- und Lederstreifen verwendet, bestehend aus einem Sattel, der der Kruppe auflag und in der Länge verstellbaren Armen (Abb. 2). Zwischen den drei Potentiometern auf jeder Seite bestand somit eine mechanische Verbindung. Mit dem leicht elastischen Klebeband Leukoflex wurde dieses Gestell am Hund befestigt. Zur Erhaltung der Lagebeziehung zwischen Potentiometer und Gelenkdrehpunkt bei Bewegung und damit zu Vermeidung einer Gangbehinderung muß eine ausreichende Verschieblichkeit der Haut unter den Potentiometern gewährleistet sein. Deshalb wurden nur die Potentiometerarme, nicht aber die Potentiometer selbst auf der Haut fixiert. Diese Leukoflexfixierung hat sich in nahezu 200 Versuchen bewährt, ein Verrutschen kam nicht vor, und die Hunde zeigten schon nach wenigen Schritten eine natürliche, unbeeinflußte Bewegungsweise. Rascher Verschleiß der Potentiometer am Sprunggelenk machten es notwendig, die Potentiometerarme dieses Gelenkes aus Lederstreifen zu fertigen. Dadurch waren Bewegungen in der horizontalen Ebene möglich, ohne die Festigkeit der Schenkel für die Winkelmessung zu beeinträchtigen.

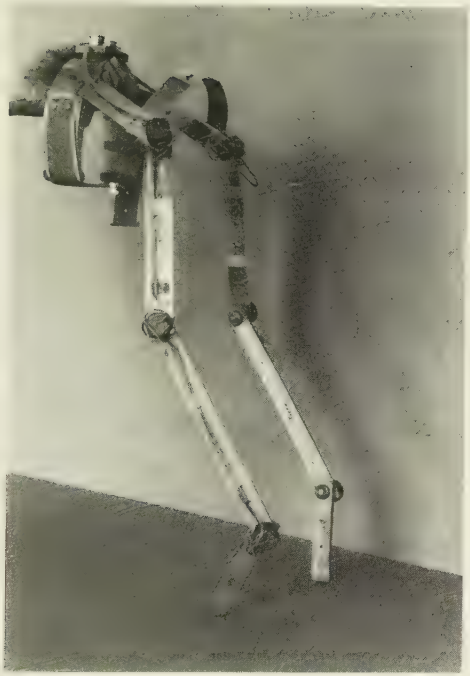


Abb. 2
Meßgerät mit Potentiometern

Die Potentiometerpositionen wurden von ADRIAN et al. (1966) übernommen: Das Potentiometer zur Messung des Hüftgelenkwinkels lag über dem dorsalen Teil des Trochanter major des Os femoris, das Kniegelenkspotentiometer über dem höchsten Punkt des lateralen Epikondylus des Os femoris und das Potentiometer zur Messung der Winkel im Sprunggelenk über dem Malleolus lateralis des Os fibularis. Damit ist die Lage der beiden Arme des Kniegelenkpotentiometers und jeweils eines Armes am Hüft- und am Sprunggelenk festgelegt. Der zweite Arm des Hüftgelenkpotentiometers war am Sattel befestigt und daher unbeweglich. Er verlief vom Potentiometer über den dorsalen Teil des Trochanter major zu einem fingerbreit cranial vom Tuber sacrale gelegenen Punkt der Crista ilica. Diese Verbindungslinie stellt eine Parallele zur Medianlinie durch den Darmbeinkörper dar. Die Lage dieses

festen Armes entspricht nicht der Methode von ADRIAN et al. (1966). Die in der vorliegenden Arbeit gemessenen Hüftgelenkswinkel sind deshalb um etwa 15° größer als die der erwähnten Autoren. Der zweite Arm des Potentiometers über dem Sprunggelenk wurde parallel zur Hauptachse der Metatarsalia befestigt. In der Abbildung 3 sind die Potentiometerpositionen und die gemessenen Winkel dargestellt. Da sich Hunde schlecht in eine definierte Ausgangsposition bringen lassen, mußte ohne Einstellung einer Nullage gearbeitet werden. Die Potentiometer waren alle parallelgeschaltet, die Zuleitungen führten zu zwei Steckern am Sattel. Ein knapp 5 m langes Doppelkabel verband das Meßgerät mit einem UV-Schreiber und einer stabilisierten Spannungsquelle. Die Konstanz der Betriebsspannung wurde ständig durch ein Voltmeter überwacht.

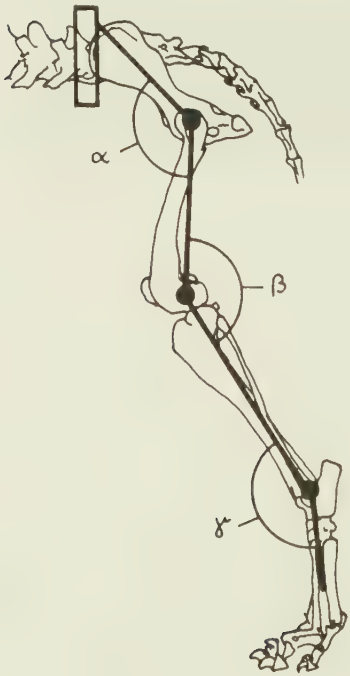


Abb. 3

Potentiometerpositionen und registrierte Winkel

α = Winkel im Hüftgelenk

β = Winkel im Kniegelenk

γ = Winkel im Sprunggelenk

Bei den orientierenden Vorversuchen gingen die Hunde auf einem langen Gang mit rutschfestem Untergrund neben einem Führer. In den Hauptversuchen wurde ein Laufband benutzt. Dadurch wurden die Versuchsbedingungen besser standardisiert. Allerdings war kein Versuchshund bereit, auf dem Laufband zu galoppieren, weshalb die Untersuchung auf die Gangarten Schritt und Trab begrenzt werden mußte. Vor jeder Messung erhielten die Tiere ausreichend freie Bewegung, um die Muskulatur zu lockern und sie ruhiger, d.h. weniger ablenkbar zu machen. Die Apparatur wurde am stehenden Hund angelegt und dem Tier anschließend Gelegenheit gegeben, sich mit dem Gerät einzulaufen. Nach jeder Registrierung wurde das Meßgerät vom Hund abgenommen und alle 6 Gelenkpotentiometer geeicht. Mit einer Eichscheibe konnten definierte Winkel eingestellt werden und die zugehörige Spannung am Potentiometer als Eichstrich auf dem Registrierpapier markiert werden (Abb. 4).

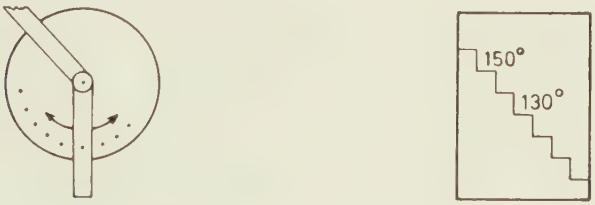


Abb. 4: Eichung
A = Eichscheibe am Potentiometer
B = Eichstriche auf dem Registrierpapier

Die gute Linearität der Eichkurven (Korrelationskoeffizient größer 0,99) - ein Beispiel zeigt die Abbildung 5 - erlaubte eine lineare Interpolation der Werte innerhalb der 10° Stufen.

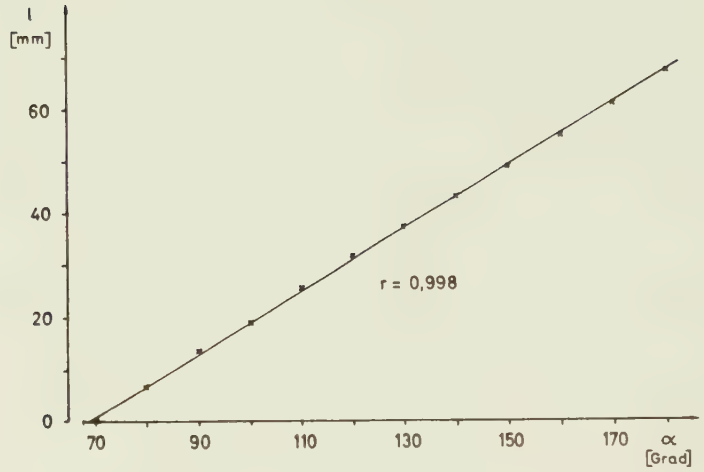


Abb. 5: Linearität der Eichkurven
l = Abstand der Eichstriche von der 70°-Eichlinie
α = Auf der Eichscheibe eingestellter Winkel

Bei einem Teil der Schreibungen wurde gleichzeitig mit der Aufzeichnung der Gelenkwinkeländerungen einer Hinterextremität auch die Belastung der Pfote registriert. Dazu wurde eine kleine Druckmeßdose, in der Größe und Form zweier aufeinanderliegender Pfennige, unter dem äußeren vorderen Zehenballen und unter dem Sohlenballen einer Hinterpfote mit beidseitig klebenden Band befestigt. Die Druckmeßdosen bestehen aus einem Metallring und zwei Deckelplatten aus 0,1 mm starkem V 2 A Blech. Eine davon ist auf der Ober- und Unterseite mit Dehnungsmeßstreifen (DMS) beklebt. Berührt die Pfote den Boden, so wird auf das Blech Druck ausgeübt. Über einen Verstärker wird die Widerstandsänderung der DMS als Spannungsänderung an einer Wheatstone'schen Brücke registriert.
Mit der geschilderten Methode lassen sich die Gelenkwinkeländerungen während der Bewegung an den Hüft-, Knie- und

Sprunggelenken beider Hinterextremitäten gleichzeitig registrieren und qualitativ und quantitativ auswerten. Die gleichzeitige Registrierung der drei Gelenke eines Beines ermöglicht eine Analyse der Einzelbewegung der Gliedmaße. Die Zehengelenke werden dabei vernachlässigt.

3.2. Material

Um die Streuung der Werte auf Grund körperbaulicher Unterschiede möglichst gering zu halten, wurden nur Hunde einer Rasse untersucht. Es handelte sich um insgesamt 9 Deutsch-Drahthaarige Vorstehhunde ohne Hinweis auf Hüftgelenksdysplasie und 9 Hunde der gleichen Rasse mit röntgenologisch nachgewiesener HD. Im folgenden wird der Kürze halber die Bezeichnung "gesund" als Synonym für "röntgenologisch ohne Hinweis auf HD" verwendet. Von den HD-Hunden hatten 6 Tiere schwere, ein Tier mittelschwere und 2 Tiere leichte Hüftgelenksdysplasie. Alle kranken Hunde zeigten Bewegungsstörungen unterschiedlicher Art und Stärke, wie z.B. ruckartiges Anheben der Hinterbeine, Abspreizen der Hintergliedmaße beim Vorführen, gleichzeitiges Fußen der beiden Hinterpfoten im Galopp, schaukelnde Bewegungen des Beckens im Schritt. Trotzdem konnten diese Hunde alle verhältnismäßig flüssig und zum Teil recht schnell laufen; unter den wenig belastenden Bedingungen im Schritt und im Trab auf dem Laufband erschien ihre Lokomotion jedoch völlig unauffällig.
Bei den Hunden mit Hüftgelenksdysplasie handelte es sich um 7 Tiere aus einem Wurf und die beiden Elterntiere. Mit einer Ausnahme wurden alle im Zwinger gehalten, erhielten aber auch außerhalb häufig Bewegungsmöglichkeit. Die gesunden Deutsch-Drahthaar waren nicht verwandt und wurden für die Messungen jeweils von ihren Besitzern zur Verfügung gestellt.
In den Vorversuchen wurden 6 gesunde und 9 Hunde mit Hüftgelenksdysplasie untersucht. Von den kranken Tieren standen für die Laufbandversuche noch 8 zur Verfügung, von den gesunden Hunden zwei. Zu den 2 gesunden Hunden aus den Vorversuchen kamen 3 weitere, so daß auf dem Laufband insgesamt 5 gesunde (Tab. 1) und 8 Hunde mit Hüftgelenksdysplasie (Tab. 2) untersucht wurden. Cord und Anka sind die Elterntiere der in Tab. 2 folgenden Hunde.

Hund	Kennzeichen in d. Diagr.	Geschlecht	Alter in Jahren z.Z. d. Unters.
Anke	●	Hündin	4
Aspe	▲	Hündin	3
Terra	×	Hündin	2,5
Quick	⧗	Rüde	5
Lümmel	□	Rüde	8

Tab. 1: Im Hauptversuch untersuchte gesunde Hunde

Hund	Kennzeichen in d. Diagr.	Geschlecht	Alter in Jahren z.Z. d. Unters.	HD-Grad
Cord	○	Rüde	7	III-IV
Anka	◊	Hündin	8	III
Axel	△	Rüde	2,5	I
Ass	⊗	Rüde	2,5 u. 3	I
Alf	✳	Rüde	2,5	III-IV
Arko	♦	Rüde	3	III-IV
Amsel	■	Hündin	3	III-IV
Asta	◊	Hündin	3	III-IV

Tab. 2: Im Hauptversuch untersuchte HD-Hunde

HD - I = leichte HD
HD - III = mittelschwere HD
HD - III-IV = schwere HD

Hund	Ober-schenkel	Unter-schenkel	Metatarsus u. Pfote	Gesamtschenkel-länge
Anke	17,5	20,0	15,5	53,0
Quick	17,5	23,5	16,5	57,5
Lümmel	19,0	24,0	14,8	57,8
Aspe	16,5	21,5	15,4	53,4
Terra	18,0	22,0	15,5	55,5
Asta	17,0	23,0	15,3	55,3
Ass	18,0	23,0	16,8	57,8
Anka	18,5	21,5	14,3	54,3
Cord	19,0	25,0	17,3	61,3
Arko	19,5	25,0	16,8	61,3
Alf	18,0	23,5	17,0	58,5
Amsel	18,0	23,0	16,3	57,3
Axel	19,5	25,0	17,3	61,8

Tab. 3: Länge der die Hinterextremität bildenden Knochen der Versuchshunde in cm. Für Ober- und Unterschenkel wurden die Abstände zwischen den Potentiometermittelpunkten der jeweils für den Hund passenden Geräteinstellung gemessen. Die Länge von Metatarsus und Pfote wurde am stehenden Hund ermittelt. Diese Messung ist mit einem Fehler von etwa $\pm$ 2 cm behaftet.

Bei den jungen Hunden mit schwerer HD (Alf, Arko, Asta, Amsel) waren im Alter von einem Jahr röntgenologisch bereits arthrotische Veränderungen im Hüftgelenk zu erkennen. Die Abbildungen 6 und 7 zeigen das Knochenpräparat der Becken- und Oberschenkelknochen des Versuchshundes Alf im Alter von 3 Jahren. An den Ansatzstellen der Gelenkkapsel finden sich starke Exostosen, Entrundung der Oberschenkelköpfe durch Knorpel- und Knochenabrieb. Cord zeigte im Alter von 3, 4 und 10 Jahren schwerste Veränderungen im Sinne einer Arthropathia deformans (Siehe Abb. 8 u. 9). Das heißt bei den genannten 5 Hunden lag zum Zeitpunkt der Registrierung mit Sicherheit eine Coxarthrose vor. Bei Axel und Ass konnten

im Röntgenbild im Alter von einem Jahr keine Anzeichen einer Arthropathia deformans nachgewiesen werden. Da die Messungen bei diesen Hunden erst 1-2 Jahre später erfolgten, besteht keine Klarheit über den Zustand der Hüftgelenke zu diesem Zeitpunkt. Das gilt ebenso für die Versuchshündin Anka, die im Alter von 4 und 6 Jahren (siehe Abb. 10) trotz deutlicher Subluxationsstellung keine röntgenologisch erkennbaren Zeichen einer Coxarthrose aufwies.
Die Abbildung 11 zeigt das Röntgenbild eines HD-freien Hundes.

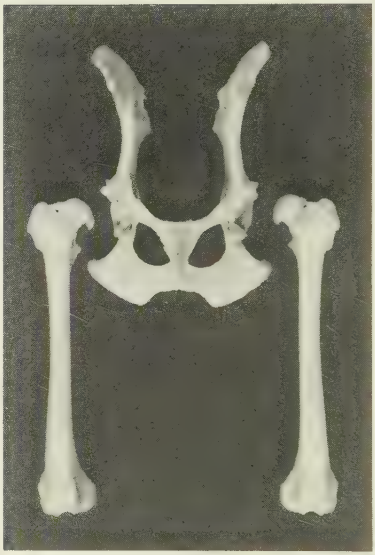


Abb. 6: Becken- und Oberschenkelknochen des Versuchshundes Alf. Schwere HD.

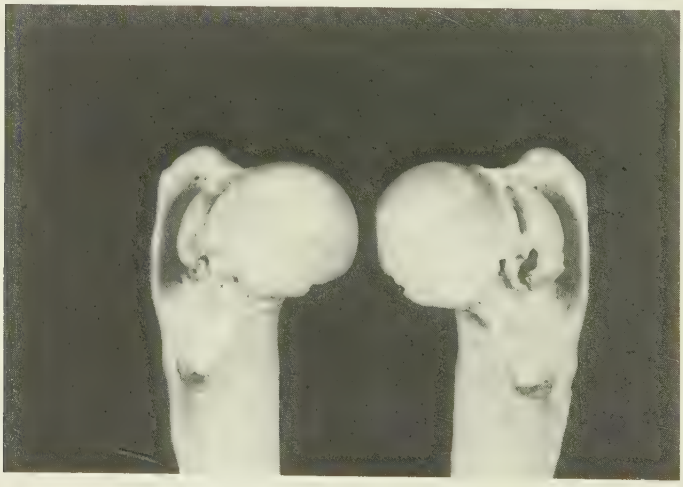


Abb. 7: Knochenpräparat von Alf. Abgeriebene Flächen an den Oberschenkelköpfen.

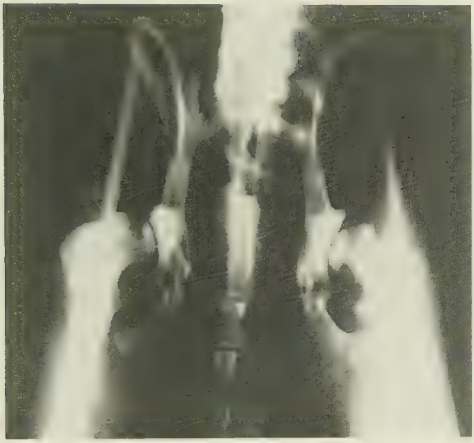


Abb. 8: Röntgenbild der Hüftgelenke des Versuchshundes Cord im Alter von 3 Jahren. Schwere HD.

Abb. 9: Knochenpräparat des Beckens von Cord im Alter von 10 Jahren.

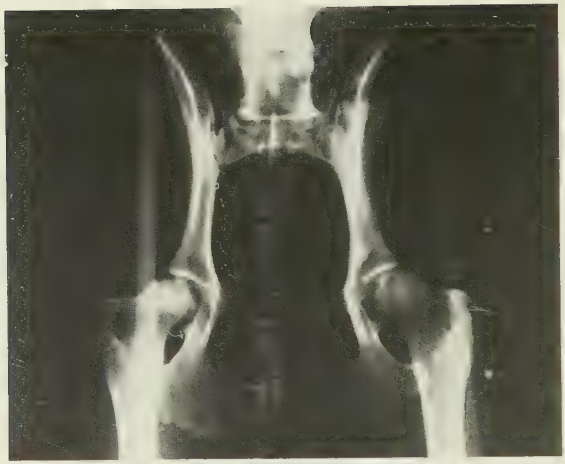


Abb. 10: Röntgenbild der Hüftgelenke des Versuchshundes Anka im Alter von 6 Jahren. Mittelschwere HD.

Abb. 11: Röntgenbild der Hüftgelenke des Versuchshundes Aspe. Kein Hinweis auf HD.

3.3. Übersicht über die im Hauptversuch durchgeführten Registrierungen:

1. Von allen Versuchshunden wurden mindestens 4 Registrierungen bei 8 verschiedenen Geschwindigkeitsstufen des Laufbandes aufgezeichnet. In der Regel wurden die einzelnen Registrierungen (jedesmal neu angelegtes Gerät) an verschiedenen Tagen vorgenommen, manchmal noch eine zweite am selben Tag einige Stunden später oder auch gleich im Anschluß an die erste. Damit die Hunde die vorgegebene Geschwindigkeit genau einhielten, also an derselben Stelle des Laufbandes blieben, wurden sie am Halsband locker festgehalten. Während der Messungen war eine Regulierung der Geschwindigkeit des Hundes nur selten nötig; die Hunde liefen daher im Prinzip völlig frei auf dem Laufband und wählten ihre Schrittfrequenz bzw. Schrittlänge, ihre Körperhaltung und den Zeitpunkt des Antrabens selbstständig.

2. Bei 6 Versuchshunden wurde gleichzeitig mit der Aufzeichnung der Winkeländerungen eines Beines dessen Fußung registriert. Es handelte sich dabei um 4 HD-Hunde und 2 gesunde Hunde. Diese Untersuchungen erfolgten ebenfalls auf dem Laufband bei mehreren Geschwindigkeitsstufen im Schritt und im Trab.

3. In einem Versuch wurde der Hund absichtlich psychischen Beeinflussungen ausgesetzt, wie z.B. dem Anblick von Futter, während er bei konstanter Geschwindigkeit auf dem Laufband lief. Hier sollte die Frage beantwortet werden, ob die Goniogramme bei einer bestimmten Geschwindigkeit, außer von der Schrittlänge, noch von der "inneren Stimmungslage" des Hundes beeinflußt werden können.

4. Ergebnisse

4.1. Zuverlässigkeit und Genauigkeitsbereich der Methode

Die Genauigkeit der potentiometrischen Winkelmessung hängt sowohl von dem untersuchten Gelenk als auch von der verwendeten Methode insgesamt ab. So sind vor allem die Befestigungsmöglichkeiten bei den einzelnen Spezies und Gelenken unterschiedlich. Von Einfluß ist auch, ob die Gelenke einzeln untersucht werden oder mehrere zusammen mit Hilfe von Verbindungssystemen. Außerdem erreichen die einzelnen Potentiometertypen verschiedene Genauigkeiten und sind unterschiedlich gut belastbar durch Achsenbelastungen, wie sie am biologischen Objekt auftreten. Aus diesen Gründen wurde eine Reihe von Versuchen angestellt, um die Genauigkeit der hier verwendeten Methode abschätzen zu können.

1. Prüfung der Potentiometer:
Die Potentiometer wurden auf einer Scheibe mit Gradeinteilung geprüft. Mit einem auf der Achse befestigten Arm konnten 33 verschiedene Winkel eingestellt werden. Auf einem Digitalvoltmeter wurde die zugehörige Spannung abgelesen. Wiederholtes Einstellen bestimmter Schleiferstellungen ergab eine Spannungsschwankung von maximal 0,5 % des Ausgangswertes, entsprechend 1,6°. Die mittlere Schwankung lag unter 1°. Die Richtung, aus der die Einstellung erfolgte, spielte keine Rolle. Alle verwendeten Potentiometer wurden so überprüft. Die Reproduzierbarkeit der Spannung an den Potentiometern ist nach diesen Messungen mit einer Genauigkeit von $\pm$ 0,5° bis $\pm$ 0,8° möglich. Die Vaselinebeschichtung der Widerstandselemente ergab keine Veränderung der Meßgenauigkeit.

2. Prüfung der gesamten Apparatur:
Um den Grad der Zuverlässigkeit der gesamten Methode unter Berücksichtigung der Einflüsse von Spannungsquelle, Meßgerät mit Potentiometern, UV-Schreiber und Eichung - jedoch ohne

den Faktor Hund - zu bestimmen, wurden zwei weitere Versuchsreihen durchgeführt.

a. Auf einem Holzgestell fest einzustellende Winkel wurden 10x mit der Apparatur gemessen. An 5 verschiedenen Meßtagen wurde jeweils mit 2 unterschiedlichen Spannungen registriert und geeicht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 zusammengefaßt:

Meß-tag	(Volt)	Hüft-gelenk rechts	Knie-gelenk rechts	Sprung-gelenk rechts	Hüft-gelenk links	Knie-gelenk links	Sprung-gelenk links
1	1,2	91	131	163	95	132	165
	1,4	90	132	165	97	132	166
2	1,2	90	132	163	95	133	167
	1,4	90	130	164	94	132	167
3	1,2	90	131	164	96	132	165
	1,4	90	132	163	95	134	166
4	1,2	91	132	164	94	133	165
	1,4	90	133	163	95	133	166
5	1,2	90	132	163	95	132	165
	1,4	90	132	164	94	133	164
	$\bar{x}$	90	132	164	95	133	166
	s	$\pm$ 0,4	$\pm$ 0,8	$\pm$ 0,7	$\pm$ 0,9	$\pm$ 0,7	$\pm$ 1

Tab. 4: Versuchsreihe zur Reproduzierbarkeit der Winkelmessung. Winkel in Grad.
$\bar{x}$ = Mittelwert. s = Standardabweichung.

Es ergibt sich eine max. Abweichung der Messungen voneinander von 3°, entsprechend 2-3 % der gemessenen Winkel. Die mittlere Abweichung (s) der 10 Werte vom Mittelwert $\bar{x}$ ist in allen Gelenken $\leq 1°$.

b. Der Eichvorgang wurde an 58 Winkelwerten aller 6 Gelenke fünfmal wiederholt. Es wurden also ebenfalls konstante Winkel mehrfach mit der gesamten Apparatur gemessen. Es ergab sich eine max. Abweichung von 3,5°; die mittlere Abweichung (s) lag unter $\pm$ 2°.
Am Holzgestell bzw. bei der Einstellung gleicher Winkel mit der Eichscheibe liegt die Genauigkeit der Apparatur zwischen $\pm$ 1° - 2°.
Für die Messung am Hund kommt noch ein Anlegefehler hinzu, d.h. auch bei gleicher Winkelstellung des Tieres können durch unterschiedliches Anlegen des Gerätes unterschiedliche Winkel gemessen werden. Zur Abschätzung der Größe dieses Fehlers habe ich folgenden Versuch durchgeführt:

Einem gesunden Hund wurde das Gerät 10x hintereinander angelegt und die Gelenkwinkel ein kurzes Stück im langsamen Trab bei konstanter Geschwindigkeit des Laufbandes registriert. Unter der Annahme, daß der Hund mit immer vergleichbaren Winkeländerungen läuft, ergibt sich der Anlegefehler aus den Schwankungen der 10 Registrierungen. Die Berechtigung dieser Annahme ist indes zweifelhaft; trotz weitgehender Konstanz der Bedingungen ist gerade dies nicht sicher gegeben, da die Registrierungen der Winkeländerungen auch durch die Körperhaltung beeinflußt werden können. Hier spielt die "innere Stimmungslage" des Tieres eine Rolle.
Wie im Kapitel 4.3. noch ausführlich dargelegt werden wird, konnte ich die Goniogramme (Aufzeichnung der Winkeländerungen) meiner eigenen Hündin allein durch Tadel meßbar verändern. Besonders starke Auswirkungen hat die Kopfhaltung. Die Tabelle 5 zeigt ein Beispiel für den Einfluß der Kopfhaltung auf die Bewegungsamplitude im Hüftgelenk. Dazu wurde einem Versuchshund der Kopf für wenige Schritte nach rechts bzw. links ausgebunden. Die Winkel in der mittleren Spalte wurden bei frei gewählter

Kopfhaltung des Hundes gemessen, die in den äußeren Spalten bei nach rechts bzw. links ausgebundenem Kopf.

	Kopf nach rechts		Kopf frei		Kopf nach links	
	Amplitude im Hüftgelenk (Winkelgrade)					
Schritt	rechts	links	rechts	links	rechts	links
1	58	31	49	45	38	54
2	54	34	53	50	40	59
3	54	38	53	51	39	60
4	50	31	51	45	36	61
5	51	30	49	46		
$\bar{x}$	53	33	51	47	38	58
s	± 3	± 3	± 2	± 3	± 2	± 3

Tab. 5: Einfluß der Kopfhaltung auf die Bewegungsamplitude im Hüftgelenk.
$\bar{x}$ = Mittelwert. s = Standardabweichung.

Eine Änderung der "Stimmungslage" des Hundes und damit seiner Körperhaltung ist bei 10maligem Anlegen des Geräts durchaus denkbar. Bei jedem Entfernen der Apparatur könnte sich die Erwartung auf eine Beendigung des Versuchs verstärkt haben. Diese Erwartung wurde dann jedesmal enttäuscht. Um solche Variationen der Winkel durch den Hund möglichst gering zu halten, wurde für den Versuch mit den 10 Anlegevorgängen ein gut motivierbarer gesunder Hund ausgewählt. Alle Messungen erfolgten hintereinander an einem Tag. Trotz der Möglichkeiten der erwähnten Schwankungen in den Winkelstellungen wird im folgenden mit dem Ergebnis dieses Versuchs als Grundlage für die Beurteilung der Genauigkeit der Methode weitergearbeitet. Die Tabelle 6 zeigt die Streuung der Winkelwerte bei 10 Anlegevorgängen am Beispiel der max. Streckung des rechten Beines.

Registrierung nach Anlegevorgang	Winkel in Grad im Hüftgelenk	Kniegelenk	Sprunggelenk
1	147 ± 2	170 ± 1	171 ± 1
2	148 ± 1	173 ± 1	172 ± 1
3	145 ± 2	170 ± 1	172 ± 1
4	146 ± 1	169 ± 2	169 ± 1
5	144 ± 1	164 ± 1	166 ± 2
6	143 ± 1	166 ± 1	170 ± 1
7	145 ± 1	164 ± 1	162 ± 2
8	145 ± 1	163 ± 2	166 ± 2
9	144 ± 1	161 ± 1	162 ± 1
10	144 ± 1	166 ± 1	167 ± 2
$\bar{x}$ ± s (n=100)	145 ± 2	167 ± 4	168 ± 4

Tab. 6: Streuung der Winkelwerte für die max. Streckung in jeder Bewegungsfolge bei 10 Anlegevorgängen. Mittelwerte und Standardabweichung aus jeweils 10 Bewegungsfolgen.

Als Ergebnis aller Auswertungen ergibt sich eine maximale Abweichung von 5° im Hüftgelenk und von 12° im Knie- und im Sprunggelenk. Die Standardabweichung von 100 Werten (jeweils 10 Werte aus 10 Anlegevorgängen) liegt im Hüftgelenk bei ± 1°-2°, in den beiden anderen Gelenken bei ± 2°-4°. Das sind im Hüftgelenk 1-3 % der vorkommenden Winkel, im Kniegelenk und im Sprunggelenk 2-5 %. Dies sind geeignete Richtwerte für die Genauigkeit der gesamten Methode, da diese Versuchsreihe alle Fehlermöglichkeiten einschließt. Im Hüftgelenk ist daher mit einem Fehler von ± 2°, im Kniegelenk und im Sprunggelenk mit einem Fehler von ± 4° zu rechnen. Berücksichtigt man die vorgenannte Genauigkeit der Apparatur ohne den Faktor Hund (max. Abweichung 3,5°) wird deutlich, daß der Anlegefehler einen großen Anteil am Gesamtfehler hat. Dies wird verständlich, wenn man bedenkt, daß mit Rücksicht auf die klinische Anwendbarkeit der Methode keine den Hund verletzende oder verunstaltendende Markierungen verwendet wurden.

Die einzelnen Knochenpunkte waren zwar bei jedem Hund deutlich zu palpieren, befanden sich aber, je nach Stellung des Beines, unter verschiedenen Hautbezirken. Für den distal gelegenen Potentiometerarm am Sprunggelenk stand ferner nur ein Fixpunkt zur Verfügung, was den relativ großen Fehler in diesem Gelenk erklären könnte.
Entsprechend dem gefundenen max. Fehler von 5° im Hüftgelenk werden zwei Registrierungen von einem Hund bei gleicher Geschwindigkeit und Bewegungslänge dann als unterschiedlich angesehen, wenn sie sich in diesem Gelenk, zusätzlich zu der innerhalb einer Registrierung bestehenden Streuung, um mehr als 5° unterscheiden. Im Knie- und im Sprunggelenk müssen sie um mehr als 12° auseinanderliegen. Veränderungen innerhalb einer Registrierung können an einem Bein mit einer Genauigkeit von etwa $\pm$ 2° unterschieden werden; zwischen beiden Beinen ist ein möglicher Anlegefehler zu berücksichtigen.

4.2. Erläuterungen der Registrierungen an Hand einiger Beispiele

Die Registrierung der Gelenkwinkel ergab für jedes Gelenk ein bestimmtes Muster, das in Abhängigkeit von Gangart und Geschwindigkeit regelmäßig zu erhalten war. Dabei zeigten die einzelnen Hunde individuelle Charakteristika, die in der qualitativen Abwandlung eines Grundmusters bestanden. Die Abbildung 12 zeigt ein Registrierbeispiel der Gelenkwinkeländerungen eines gesunden Hundes im langsamen Schritt. Die Zeitachse verläuft von links nach rechts. Ein Kurvenanstieg bedeutet eine Streckung, ein Kurvenabfall eine Beugung des Gelenks. Nach einer Zeitspanne, die man Bewegungsfolge nennt, wiederholen sich die Muster in jedem Gelenk. Eine Bewegungsfolge (Bf) ist definiert als die Zeitdauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden Fußungen der gleichen Gliedmaße. Die Lage des Zeitpunktes Auffußen macht die Abbildung 13 deutlich; ein Registrierbeispiel der gleichzeitigen Aufzeichnung der Goniogramme und der Pfotenbelastung eines Beines. Oben sind die Goniogramme von Hüft-, Knie- und Sprunggelenk zu erkennen, darunter befinden sich die Druckkurven vom Zehenballen und vom Sohlenballen. Eine Belastung der Ballen entspricht in den Druckkurven einem Kurvenabfall. Die gestrichelte Linie stellt den Zeitpunkt Fußungsbeginn dar, die durchgezogene den Zeitpunkt Abfußen. Der Abschnitt zwischen Auffußen und Abfußen ist die Fußungsphase, der Abschnitt zwischen Abfußen und Auffußen die Schwingphase.
Zum Zeitpunkt des Auffußens, dem Beginn der Fußungsphase, ist im Hüftgelenk die maximale Beugung gerade überschritten. Bei einigen Hunden fällt dieser Zeitpunkt auch mit der maximalen Beugung des Hüftgelenks zusammen. Das Kniegelenk befindet sich zur gleichen Zeit, ebenso wie das Sprunggelenk, im Maximum der Streckung, die in der Schwingphase begann. Danach rollt der Körper über die Pfote ab. Zunächst erfolgt das Stützen des Körpergewichts, in den Goniogrammen der

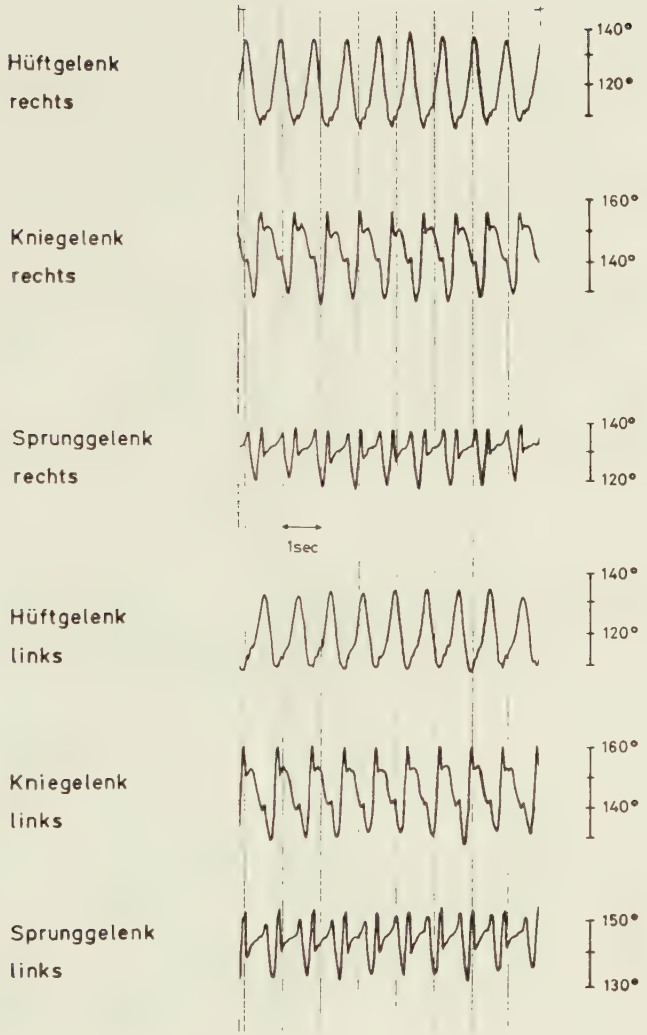


Abb. 12: Registrierbeispiel der Gelenkwinkeländerungen eines Hundes im langsamen Schritt

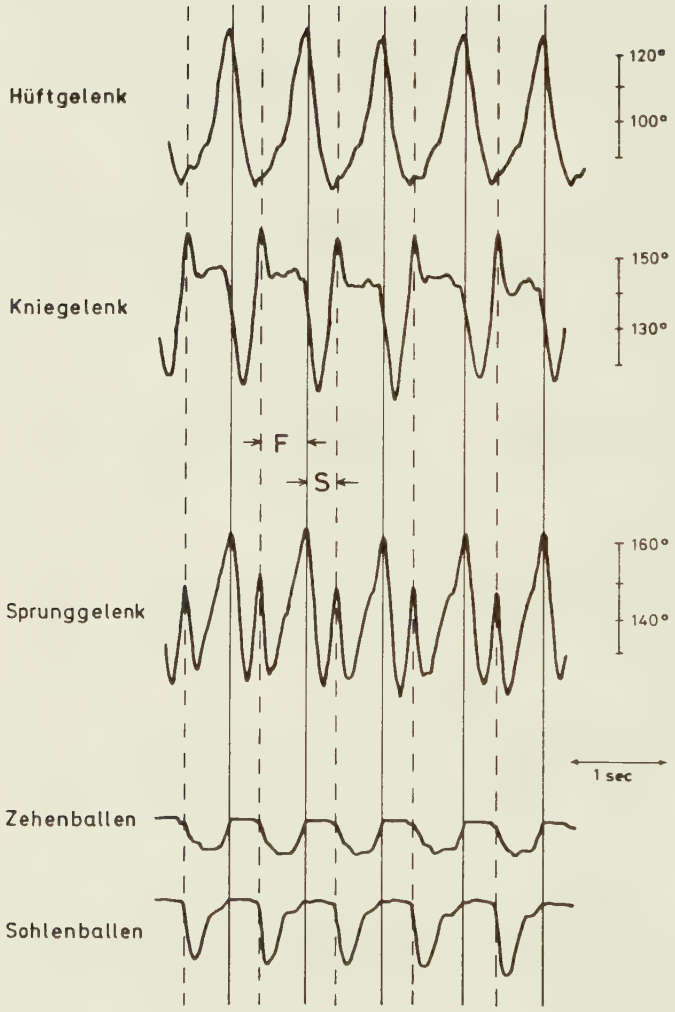


Abb. 13: Gleichzeitige Registrierung der Fußung und der Winkeländerungen im Schritt.

F = Fußungsphase S = Schwingphase

Abbildung 13 durch eine Beugung des Knie- und Sprunggelenks bis zum Zeitpunkt der maximalen Belastung des Sohlenballens dokumentiert. Darauf folgt das Abstemmen. In dieser Phase streckt sich das Sprunggelenk und das Hüftgelenk, während im Kniegelenk bei den einzelnen Hunden unterschiedliche Bewegungen vorliegen. Bei den gesunden Hunden handelt es sich im Schritt meistens um eine Beugebewegung, der einige kleinere Streckungen aufgesetzt sind (siehe z.B. Abb. 12). Beim Abfußen wird zuerst der Sohlenballen entlastet und dann der Zehenballen. Die durchgezogene Linie markiert diesen Zeitpunkt. Im Schritt beginnt das Abheben der Gliedmaße mit der Beugung des Hüft- und Kniegelenks, dem etwas später die Beugung des Sprunggelenks folgt. Das Abfußen der Pfote fällt in allen Fußungsregistrierungen dieser Untersuchung immer mit dem Streckungsmaximum des Sprunggelenks am Ende der Fußungsphase zusammen. Mit dem Abfußen ist die Fußungsphase beendet, es beginnt die Schwingphase. In dieser Phase, in der die Gliedmaße in einem Bogen nach vorn geführt wird, beugen sich alle drei Gelenke zunächst schnell und deutlich, um sich dann mehr oder weniger stark wieder zu strecken. Ein Beispiel für die individuelle Variation des Grundmusters durch die verschiedenen Hunde ist in Abbildung 14 zu sehen.

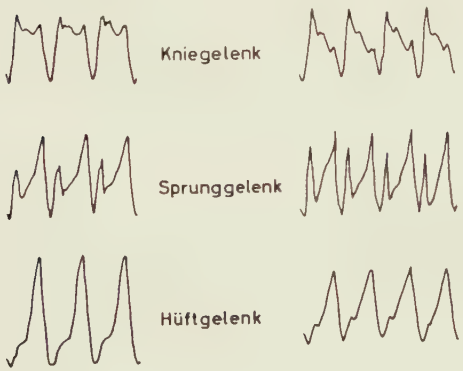


Abb. 14:
Individuelle Variation des Grundmusters

4.3. Lokomotionsbedingte Einflüsse auf die Goniogramme

Die Fortbewegung des Hundes ist ein Wechselspiel von Bewegungsabläufen mit vielen Variationsmöglichkeiten. Um aus den Aufzeichnungen der Winkeländerungen während der Bewegung eventuelle Bewegungsstörungen der Hunde mit Hüftgelenksdysplasie ablesen zu können, ist die genaue Kenntnis der die Goniogramme beeinflussenden Faktoren notwendig, d.h. man muß die Variationen kennen, die bereits beim gesunden Hund auftreten können.
Die untersuchten Gangarten Schritt und Trab unterscheiden sich in den Registrierungen sowohl qualitativ wie quantitativ. Goniogramme vom sich im Schritt fortbewegenden Hund zeigen die Abbildungen 12 und 13. Im Trab (Abb. 15 und 16) erscheint in den Goniogrammen des Hüftgelenks um den Zeitpunkt des Auffußens eine kleine deutliche Zacke, die anzeigt, daß die Fußungsphase in diesem Gelenk mit einer kurzen und geringen Beugung beginnt. Das Grundmuster des Kniegelenks ist im Trab zweigipflig. Im Vergleich zum Schritt wird die Bewegungsamplitude im Knie- und im Sprunggelenk stark vergrößert, zum größeren Teil durch eine verstärkte Beugung während der Schwingphase. Im Hüftgelenk nimmt die Amplitude (Differenz zwischen max. Streckung und max. Beugung) beim Übergang vom Schritt zum Trab zunächst ab, um sich dann mit steigender Geschwindigkeit im Trab wieder zu vergrößern (siehe Abb. 17). Die Abbildung 17 zeigt außerdem, daß der Anstieg der Hüftgelenksamplitude im Schritt steiler ist als im Trab.
Zur Änderung der Geschwindigkeit stehen dem Hund zwei Möglichkeiten zur Verfügung; er kann sowohl die Schrittfrequenz als auch die Bewegungslänge ändern. Die Schrittfrequenz ist die Anzahl der Fußungen einer Gliedmaße pro Zeiteinheit. Unter der Bewegungslänge versteht man den räumlichen Abstand zweier aufeinanderfolgender Trittsiegel derselben Gliedmaße.

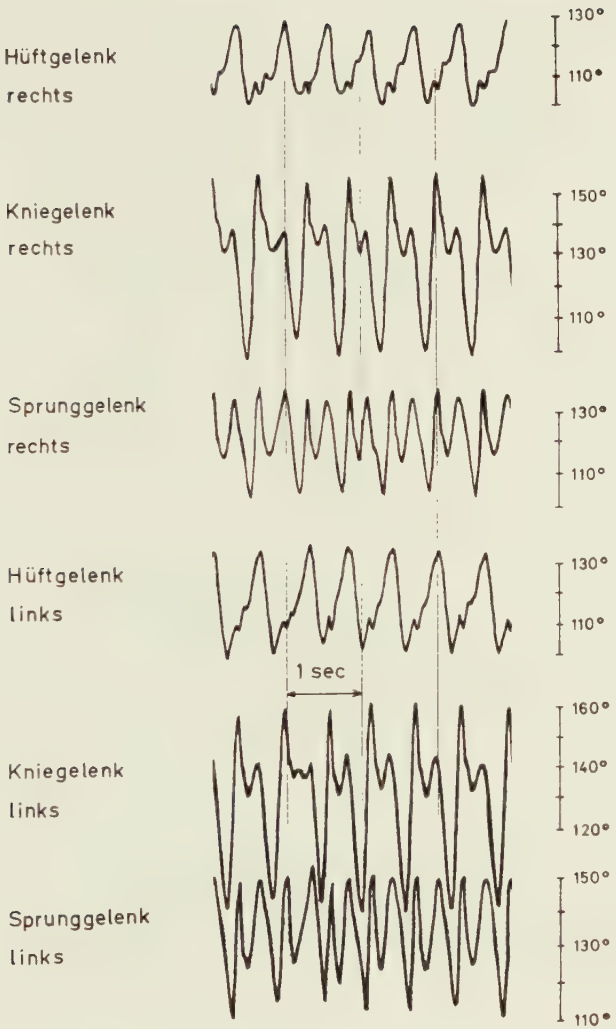


Abb. 15: Registrierbeispiel der Gelenkwinkeländerungen eines Hundes im langsamen Trab

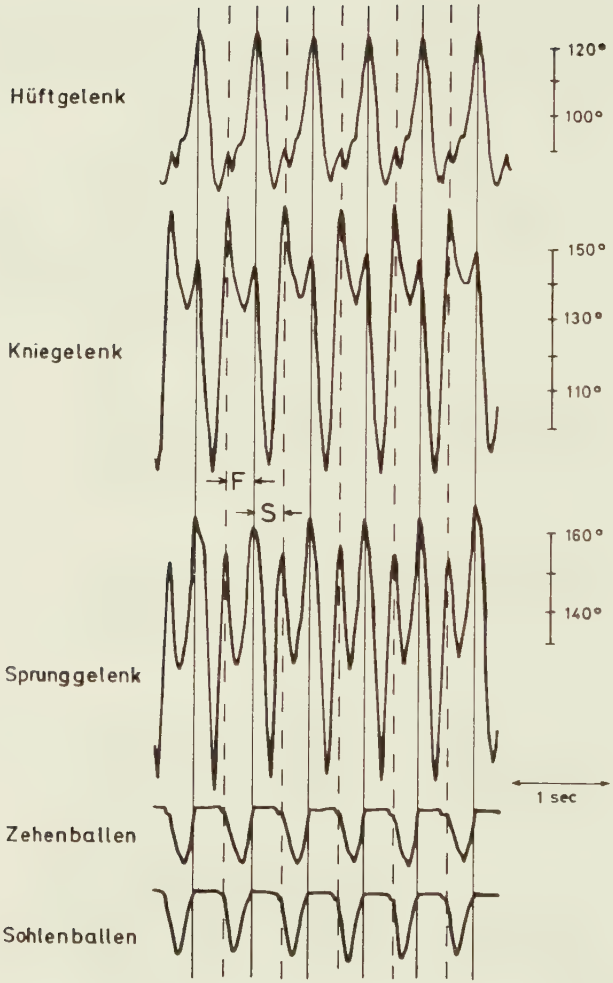


Abb. 16: Gleichzeitige Registrierung der Fußung und der Winkeländerungen im Trab.

F = Fußungsphase S = Schwingphase

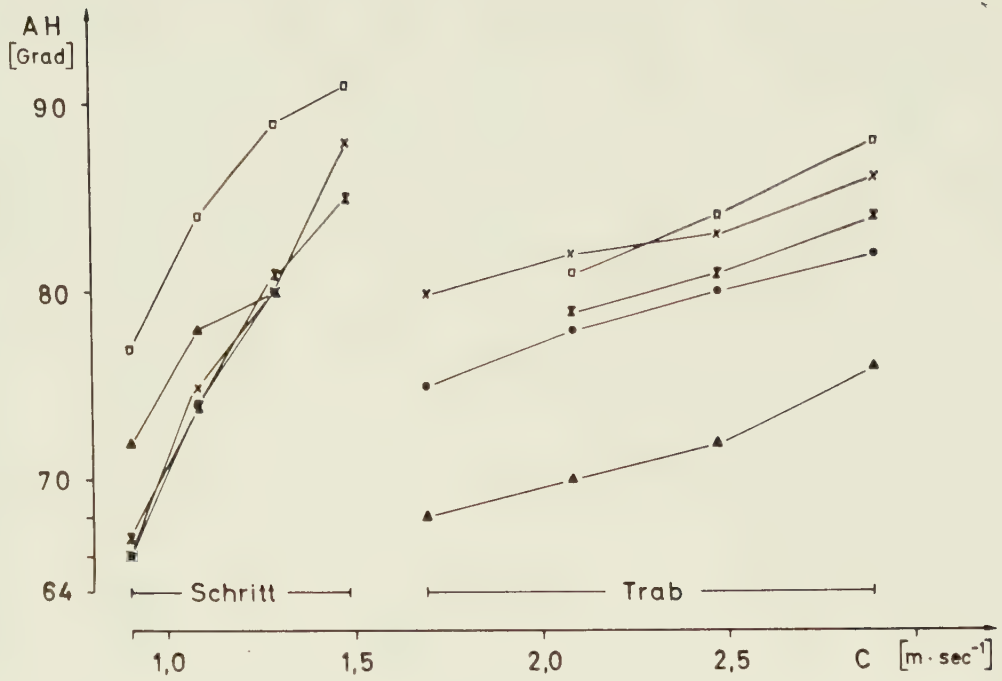


Abb. 17: Entwicklung der Amplitude im Hüftgelenk in Abhängigkeit von der Laufbandgeschwindigkeit (C) bei 5 gesunden Hunden.
AH = Summe der Amplituden rechts und links.

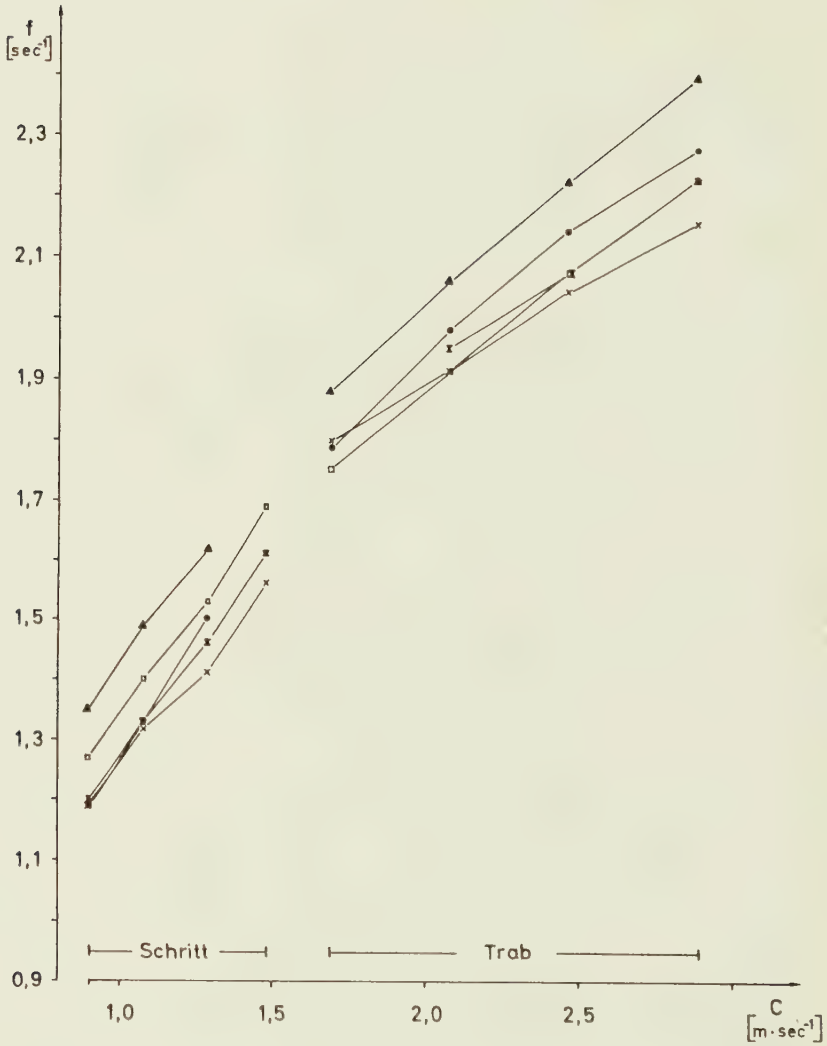


Abb. 18: Schrittfrequenz (f) der 5 gesunden Hunde bei verschiedenen Laufbandgeschwindigkeiten (C)

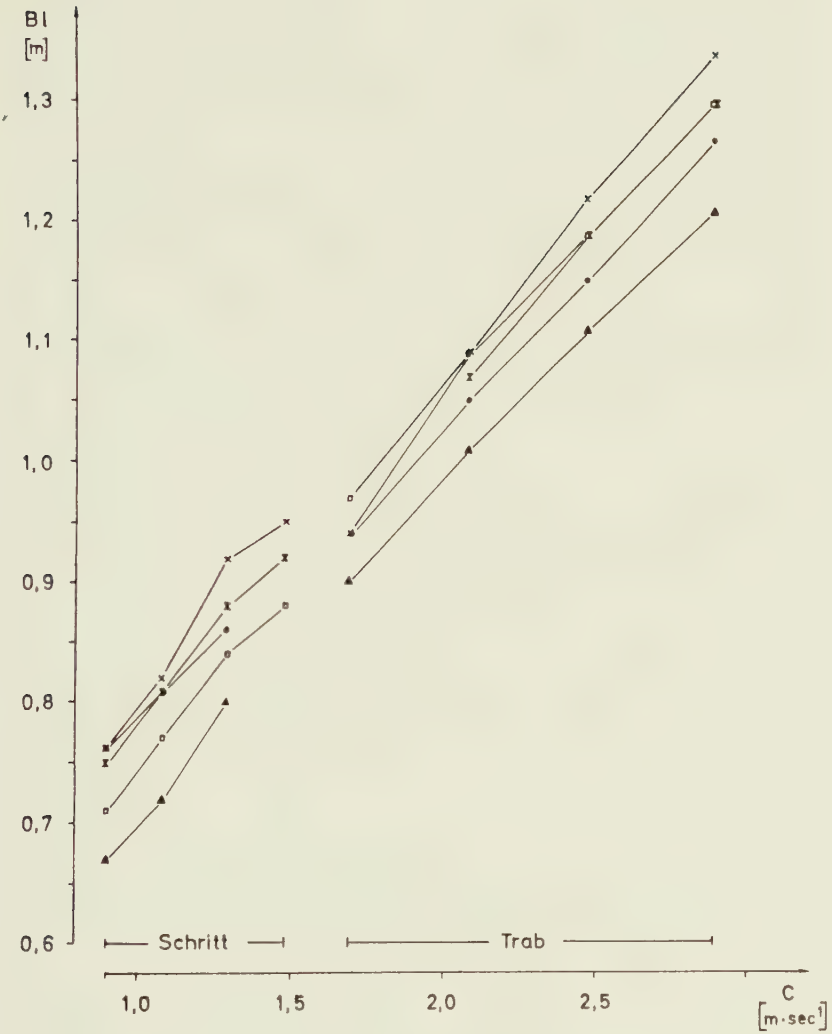


Abb. 19: Bewegungslänge (Bl) der 5 gesunden Hunde bei verschiedenen Laufbandgeschwindigkeiten (C)

Damit ist die Laufgeschwindigkeit (C) der Schrittfrequenz (f) und der Bewegungslänge (Bl) direkt proportional: C = f x Bl. Bei der Anpassung an höhere Laufbandgeschwindigkeiten steigerten die Hunde i.d.R. beide Parameter (siehe Abb. 18 und 19).

Entscheidend für die Winkelstellungen während eines Schrittes ist die Bewegungslänge. Sie wird im Schritt durch die Vergrößerung der Amplitude im Hüftgelenk und eine Verstärkung der Streckung im Knie- und im Sprunggelenk bis zum Abheben bzw. Auffußen erreicht. Im Trab kann die Steigerung dieser Größen geringer sein, da ein Teil der Bewegungslänge in der Schwebephase zurückgelegt wird (siehe Tab. 7).

Gangart	Bl (m)	δ (Grad)	Winkel (Grad) zum Zeitpunkt Auffußen: Kniegelenk	Auffußen: Sprunggelenk	Abheben: Kniegelenk	Abheben: Sprunggelenk
Schritt	0,75	34	152	157	136	164
	0,81	39	153	159	138	167
	0,88	43	154	162	140	168
	0,92	45	155	164	143	172
Trab	1,07	40	162	166	144	168
	1,18	40	163	169	142	169
	1,32	40	166	172	146	169

Tab. 7: Beispiel für den Einfluß der Bewegungslänge (Bl) auf die Amplitude im Hüftgelenk (δ) und die Streckung des Knie- und Sprunggelenks zum Zeitpunkt Auffußen bzw. Abheben

Die gleichzeitig registrierten Goniogramme beider Beine sind bereits bei den gesunden Hunden oft nicht identisch. Quantitativ ist meist eine Seite größer als die andere. Eine Erklärung hierfür wäre das Schräglaufen der Hunde, d.h. eine Schrägstellung der Körperachse zur Fortbewegungsrichtung. Dieses "Schränken" war bei den Versuchshunden tatsächlich

häufig zu beobachten und zwar nicht nur im Trab, sondern auch schon im Schritt. Bei schräg zur Fortbewegungsrichtung stehendem Becken arbeiten die beiden Hinterextremitäten ungleich, wobei die Bewegungslänge und damit i.d.R. die Bewegungsamplituden in den Gelenken rechts und links identisch sein müssen. Dies ist bei den gesunden Hunden immer der Fall. Die Amplituden beider Seiten unterscheiden sich im Rahmen der Genauigkeit der Methode nicht. Sowohl Richtung wie Grad der Schrägstellung können an verschiedenen Tagen bei demselben Hund schwanken.

Wie bereits im Kapitel über die Genauigkeit erwähnt, wirkt sich die psychische Situation des Tieres über die Körperhaltung und den Muskeltonus auf die Lokomotion aus. Registrierungen ohne vorherigen Auslauf unterscheiden sich von solchen, vor denen der Hund Gelegenheit hatte, sich auszutoben. Da Hunde besonders stark auf den Menschen eingestellt sind, ist es möglich, ihre "innere Stimmungslage" z.B. durch Lob oder Tadel zu verändern. Während der Messungen reagierten manche Hunde auf Bewegungen ihrer Bezugsperson oder auf Ansprache sichtbar mit Änderungen der Körperhaltung. Um festzustellen, in welcher Größenordnung solche psychisch bedingten Tonusveränderungen der Muskulatur in die Registrierungen eingingen, wurden in einem gesonderten Versuch solche Reaktionen, d.h. Beeinflussungen der "inneren Stimmungslage" provoziert:

Der Versuchshündin Anka wurden während einer 15 minütigen kontinuierlichen Bewegung auf dem Laufband im Schritt bei konstanter Geschwindigkeit Futter oder ein ihr bekannter Rüde gezeigt, oder sie wurde plötzlich getadelt. Der Versuch wurde möglichst genau per Tonband protokolliert. Es zeigte sich ein meßbarer Einfluß der drei genannten Faktoren (siehe Tab. 8).

Offensichtlich beeinflußt werden in allen drei Gelenken die Beugungen, das heißt die max. Beugung beim Vorführen des Beines in der Schwingphase und die Unterstützungsbeugung

	N (Grad)	K (Grad)	F (Grad)	R (Grad)	T (Grad)	
Maximale Beugung	105 ± 1	103 ± 1	103 ± 1	101 ± 2	101 ± 1	Hüft-
Maximale Streckung	148 ± 1	149 ± 1	148 ± 1	148 ± 1	148 ± 1	gelenk
Maximale Beugung	111 ± 2	109 ± 2	105 ± 2	102 ± 2	102 ± 4	Knie-
Maximale Streckung	161 ± 1	162 ± 1	159 ± 2	160 ± 3	161 ± 2	gelenk
Maximale Beugung	106 ± 1	102 ± 1	99 ± 2	97 ± 3	95 ± 3	
Streckungsmaximum a	138 ± 1	137 ± 1	135 ± 1	137 ± 2	134 ± 2	Sprung-
Unterstützungsbeugung	117 ± 2	114 ± 2	109 ± 3	107 ± 2	106 ± 3	gelenk
Streckungsmaximum b	144 ± 1	145 ± 1	143 ± 2	143 ± 1	144 ± 1	
Bewegungsfolge (sec)	0,74 ± 0,02	0,74 ± 0,02	0,78 ± 0,02	0,72 ± 0,03	0,74 ± 0,04	

Tab. 8: Auswirkungen einer bewußten psychischen Beeinflussung des Versuchshundes

N: Am Beginn der Registrierung; Anka ist ruhig und gelassen. n = 20

K: Kontrolle am Ende der Registrierung. Anka ist noch etwas erregt, wird aber nicht weiter beeinflußt. n = 20

F: Anka sieht ihren Futtertopf; Futter wird ausgepackt. n = 20

R: Anka sieht den ihr bekannten Rüden Cord. n = 13

T: Anka wird unerwartet getadelt. n = 13

Streckungsmaximum a = Streckungsmax. im Sprunggelenk zum Zeitpunkt des Auffußens.

Streckungsmaximum b = Streckungsmax. im Sprunggelenk zum Zeitpunkt Abheben.

Unterstützungsbeugung = max. Beugung im Sprunggelenk in der Fußungsphase.

während der Fußungsphase. Die Unterschiede sind mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0{,}05$ signifikant (zweiseitiger U-Test). Die Auswirkungen sind im Sprunggelenk am größten. Die Stellung des Beines beim Auf- und Abfußen bleibt unverändert. Die Spannung des Hundes nach dem Tadel verschwand sofort in dem Moment, wo ich als Bezugsperson des Hundes lachen mußte. Außerdem konnte man in den Goniogrammen jedes Öffnen der Tür zum Meßlabor erkennen.

Beim Vergleich der Goniogramme aus den Vorversuchen, in denen die Hunde auf festem Boden liefen, mit denen der Hauptversuche auf dem Laufband fand sich auch ein Hinweis für einen Laufbandeinfluß. Bei einer Einteilung der Muster im Sprunggelenk nach Formkriterien war die Häufigkeitsverteilung in den Vor- und Hauptversuchen unterschiedlich (siehe Tab. 9). Innerhalb einer Bewegungsfolge erscheinen im Sprunggelenk im Schritt und Trab zwei Streckungsmaxima. Das Streckungsmaximum zum Zeitpunkt des Auffußens wurde mit a bezeichnet, das zum Zeitpunkt Abheben mit b. Im Muster I ist a größer als b, im Muster II ist a kleiner als b.

	Muster I $a > b$	Muster II $a < b$
Vorversuche n = 432	0,2 %	99,8 %
Hauptversuche n = 600	54 %	46 %

Tab. 9: Laufbandeinfluß. Häufigkeitsverteilung der Sprunggelenksmuster in den Vor- u. Hauptversuchen

Der Tabelle 9 liegen die Werte der gesunden Hunde im Trab zugrunde. Während das Muster I in den Versuchen auf festem Boden also praktisch nicht vorkam, erhöhte sich das Vorkommen dieses Musters auf dem Laufband auf 54 %. Das bedeutet, daß auf dem Laufband der Anteil der Schritte zugenommen hat,

bei denen das Sprunggelenk zum Zeitpunkt des Auffußens stärker gestreckt war, als zum Zeitpunkt des Abhebens. Im Kniegelenk und im Hüftgelenk lassen sich keine eindeutigen qualitativen Unterschiede zwischen den Laufbandregistrierungen und den Schreibungen mit festen Untergrund feststellen.

4.4. Vergleich der von gesunden und kranken Hunden erhaltenen Ergebnisse

Wegen des starken Einflusses der Geschwindigkeit auf die Goniogramme ist ein quantitativer Vergleich nur bei den Laufbandregistrierungen möglich. Die im folgenden aufgeführten Ergebnisse stammen daher nur aus den unter möglichst konstanten Bedingungen aufgezeichneten Laufbandregistrierungen.

1. Die Einzelbewegungen der Hintergliedmaßen waren bei den gesunden Hunden gleichmäßiger als bei den Hunden mit Hüftgelenksdysplasie. In der Gruppe der gesunden Hunde lagen die Standardabweichungen bestimmter Winkelwerte von jeweils 20 Schritte umfassenden Stichproben aus einer Schreibung i.d.R. unter 2°. Die Tabelle 10 zeigt die größere Streuung der Werte innerhalb einer Registrierung bei den HD-Hunden. Die Zahlen betreffen Auswertungen vom Schritt bei 0,90 m/sec und vom Trab bei 2,47 m/sec.

		n	$s \leq 2$	$s > 3$
gesunde Hunde	Schritt	556	93 %	0,7 %
	Trab	612	96 %	0,98%
HD-Hunde	Schritt	773	84 %	2 %
	Trab	821	86 %	4 %

Tab. 10: Winkelstreuung innerhalb einer Registrierung
n = Anzahl der jeweils 20 Schritte umfassenden Stichproben
s = Standardabweichung von 20 zum gleichen Zeitpunkt innerhalb einer Bewegungsfolge auftretenden Winkeln.

Die Gangart Trab ist in beiden Gruppen weniger variabel. Eine Zusammenstellung der gemessenen Winkel zu den Zeitpunkten maximaler Beugung und maximaler Streckung in bestimmten

Phasen einer Bewegungsfolge aller Versuchshunde befindet sich im Anhang zu dieser Arbeit. Die einzelnen Registrierungen eines Hundes sind, bei gleicher Gangart und Geschwindigkeit, zum Teil deutlich unterschiedlich, so daß eine Zusammenfassung der Werte nicht sinnvoll erschien. So fällt z.B. eine Schreibung des Versuchshundes Cord heraus, vor der er durch einen längeren Spaziergang bei großer Hitze müde gemacht worden war. Dies war unbeabsichtigt geschehen und fiel erst auf, als der Hund nur mit größter Aufmunterung bereit war, die Messung zuzulassen. Der Versuchshund Ass kam nach den Messungen im September 79 aus dem Zwinger in Privathand. Dadurch bekam er regelmäßigen Auslauf, was sich nach 8 Monaten auch in einer besseren Bemuskelung zeigte. Zwei Registrierungen vom Mai 80 unterscheiden sich deutlich von den vorherigen. Solche Tagesschwankungen kommen auch bei den gesunden Hunden vor.

2. Die durch das Laufband vorgegebene Geschwindigkeit wurde von den Hunden mit unterschiedlichen Schrittfrequenzen bzw. Bewegungslängen erreicht. Der einzelne Hund wählte beide Größen für jede Geschwindigkeitsstufe relativ konstant. Im Mittel betrug die Standardabweichung der in Abbildung 20 dargestellten Frequenzen $\pm$ 0,03 Fußungen pro Sekunde. In der Abbildung 20 sind die Schrittfrequenzen aller 13 Hunde von allen Registrierungen in Abhängigkeit von der Laufbandgeschwindigkeit dargestellt. Mit Ausnahme eines Tieres erreichen die Hunde mit Hüftgelenksdysplasie dieselben Geschwindigkeiten mit geringeren Frequenzen. Der Unterschied zwischen den gesunden und den kranken Hunden ist unabhängig von der Körpergröße. Da die Geschwindigkeit das Produkt aus der Frequenz und der Bewegungslänge ist, bedeuten niedrigere Schrittfrequenzen der HD-Hunde gleichzeitig größere Bewegungslängen.

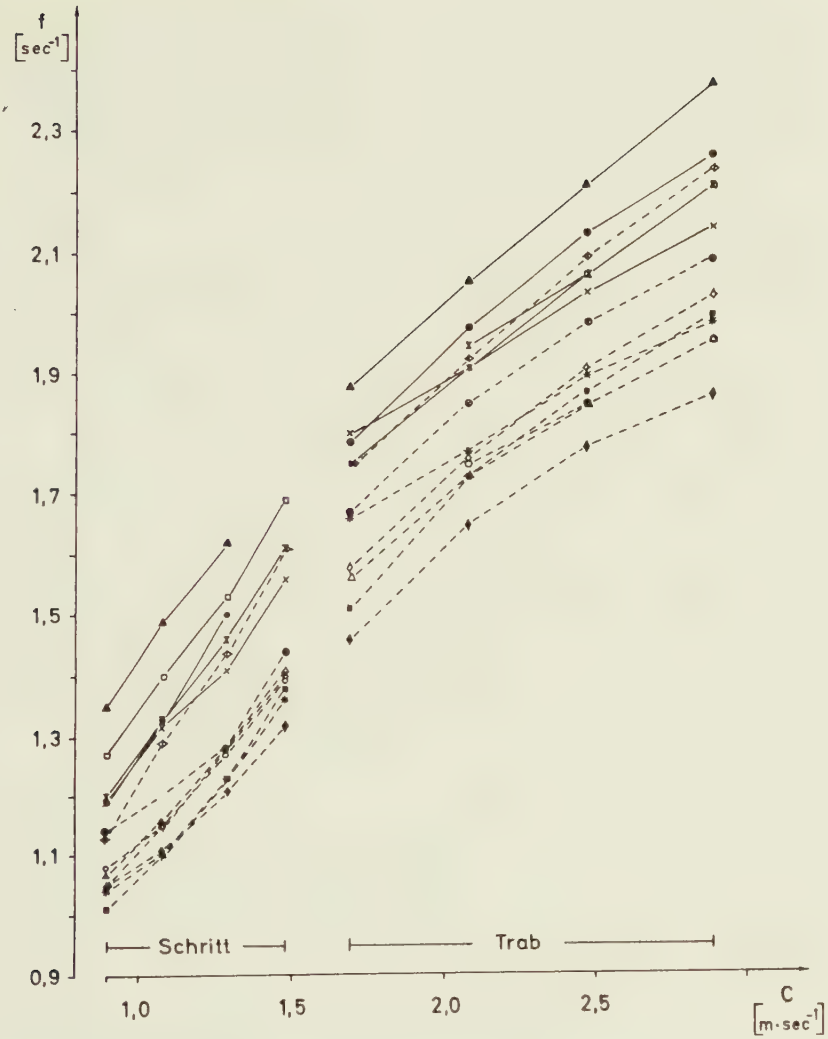


Abb. 20: Schrittfrequenzen (f) bei verschiedenen Geschwindigkeiten (C).

HD-Hunde -------- gesunde Hunde ————

3. Die Geschwindigkeit, bei der die Tiere vom Schritt in den Trab überwechselten, zeigte bei den 5 gesunden Hunden eine deutliche Beziehung zur Körpergröße. Die kleinen Hunde traben bei niedrigeren Laufbandgeschwindigkeiten an, die großen erst bei höheren. 6 der 8 HD-Hunde traben im Verhältnis zu ihrer Größe deutlich früher an als die gesunden Tiere, d.h. schon bei geringeren Geschwindigkeiten.

4. In den Tabellen 11 und 12 sind die Amplituden im Hüftgelenk bei konstanter Geschwindigkeit im Schritt und im Trab aufgelistet. Als Amplitude im Hüftgelenk bezeichne ich die Differenz zwischen maximaler Streckung und maximaler Beugung. Es handelt sich um Mittelwerte von Stichproben aus 3-6 verschiedenen Registrierungen jeweils von einem Hund. Beim Versuchshund Cord ergibt sich beim Zusammenfassen der Werte aller 6 Schreibungen eine zweigipflige Verteilung, weshalb bei diesem Hund zwei Mittelwerte unterschieden werden. Bei den Hunden mit Hüftgelenksdysplasie treten zum Teil Rechts-Links-Unterschiede auf. In solchen Fällen ist i.d.R. immer dieselbe Seite größer oder kleiner als die andere, was für eine ungleiche Beanspruchung der beiden Hüftgelenke spricht. Das Knochenpräparat des Hüftgelenks von Versuchshund Alf (siehe Abb. 6 und 7) bestätigt diese Annahme: die abgeschliffenen Bereiche in der Beckenpfanne und an den Oberschenkelköpfen sind stark unterschiedlich.
Die Abbildung 21 zeigt die Amplituden im Hüftgelenk in allen untersuchten Geschwindigkeitsbereichen. Die meisten HD-Hunde haben bei vergleichbaren Geschwindigkeiten größere Amplituden als die gesunden Hunde. Vergleicht man die Hüftgelenksamplituden bei gleicher Bewegungslänge, so liegen im Schritt nur noch zwei HD-Hunde deutlich über den Werten aller gesunden Hunde; im Trab dagegen bleiben die Unterschiede bestehen (siehe Abb. 22 und 23). Die Vergrößerung der Amplitude bei den Hunden mit Hüftgelenksdysplasie kommt durch eine verstärkte Beugung zustande, während die maximale Streckung in beiden Gruppen ähnliche absolute Winkelwerte erreicht.

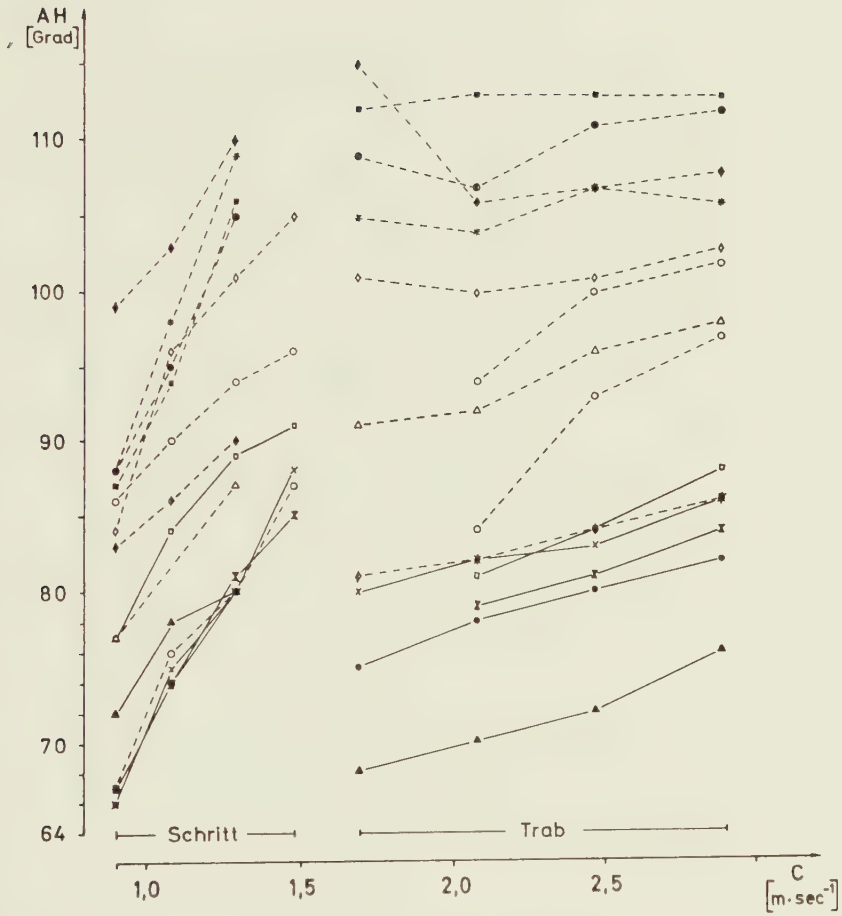


Abb. 21: Amplitude im Hüftgelenk bei verschiedenen Laufbandgeschwindigkeiten (C).
AH = Summe der Amplituden rechts und links.
HD-Hunde - - - - gesunde Hunde ———
Versuchshund Cord ist mit 2 Kurven vertreten.

Gruppe	Hund	Amplitude rechts (Grad) $\bar{x}$	s	Min.u.Max.	n	Amplitude links (Grad) $\bar{x}$	s	Min.u.Max.	n
Gesunde Hunde	Anke	34	3	26-41	120	32	2	27-37	120
	Terra	33	3	26-40	80	34	4	24-40	80
	Lümmel	36	3	30-43	120	41	4	31-49	120
	Aspe	36	2	31-43	120	36	3	29-43	120
	Quick	35	3	28-40	100	31	2	24-36	100
HD-Hunde	Arko	48	2	43-50	80	51	4	43-65	60
	Ass	44	5	34-53	153	44	4	34-50	110
	Anka	45	2	40-48	100	38	4	27-47	100
	Axel	36	3	29-42	100	41	2	37-47	80
	Amsel	43	3	36-50	80	44	3	37-51	80
	Asta	39	2	36-43	80	45	2	40-50	80
	Alf	39	2	33-46	78	49	2	46-56	82
	Cord 1	39	2	33-42	60	47	2	36-50	60
	Cord 2	31	2	26-36	60	36	3	29-42	60

Tab. 11: Amplitude im Hüftgelenk im Schritt bei 0,9 m/sec

Gruppe	Hund	Amplitude rechts (Grad) $\bar{x}$	s	Min.u.Max.	n	Amplitude links (Grad) $\bar{x}$	s	Min.u.Max.	n
Gesunde Hunde	Anke	40	2	35-45	120	39	3	32-46	120
	Terra	40	2	37-44	80	43	3	35-49	80
	Lümmel	43	3	39-49	120	41	4	35-50	120
	Aspe	37	2	33-42	120	35	2	31-40	120
	Quick	41	2	36-48	100	39	2	34-45	100
HD-Hunde	Arko	52	2	48-58	80	55	3	49-65	60
	Ass	56	5	42-64	165	55	4	46-63	115
	Anka	46	2	42-51	100	38	4	29-48	100
	Axel	48	4	37-55	85	48	2	43-54	60
	Amsel	56	2	52-60	80	57	2	53-61	80
	Asta	46	2	43-51	80	55	2	49-59	80
	Alf	50	3	44-56	72	57	5	48-66	72
	Cord 1	45	1	43-48	60	55	1	52-58	60
	Cord 2	42	2	37-46	60	51	4	45-58	60

Tab. 12: Amplitude im Hüftgelenk im Trab bei 2,47 m/sec

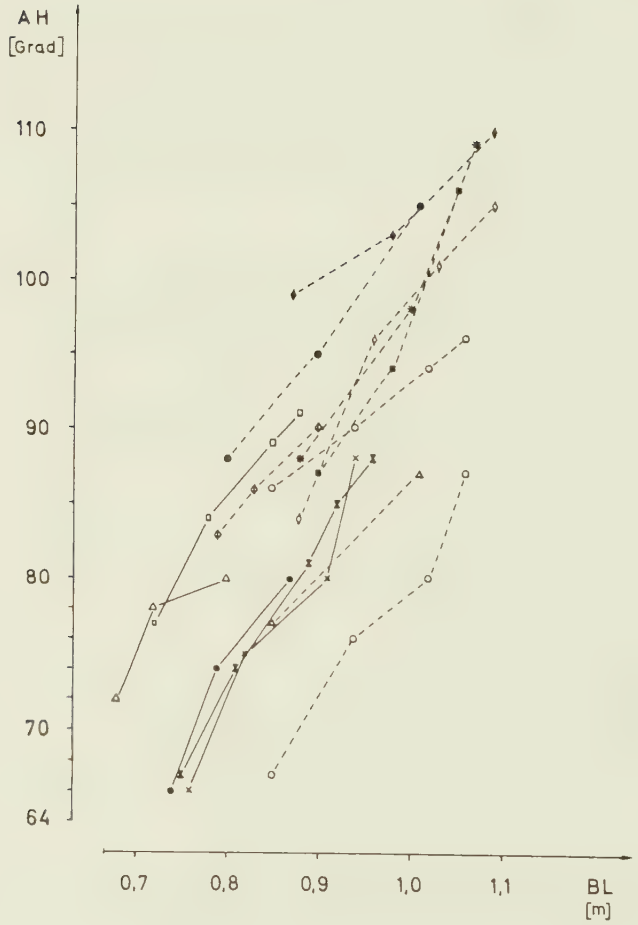


Abb. 22: Amplitude im Hüftgelenk in Abhängigkeit von der Bewegungslänge (Bl). Gangart: Schritt.
AH = Summe der Amplituden rechts und links.
HD-Hunde - - - - gesunde Hunde ————

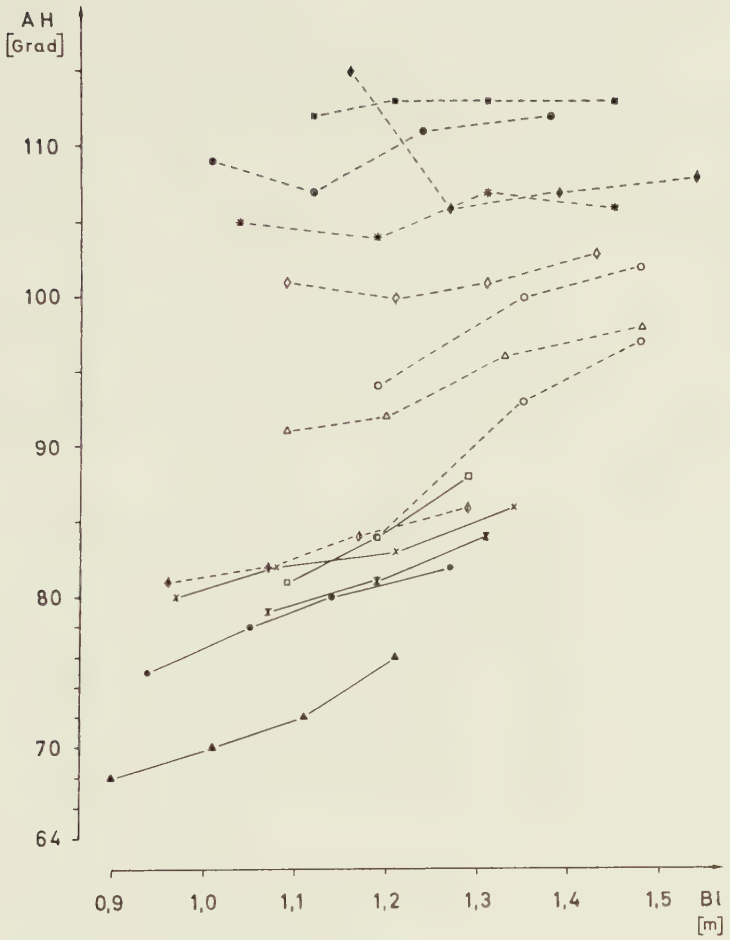


Abb. 23: Amplitude im Hüftgelenk in Abhängigkeit von der Bewegungslänge (Bl). Gangart: Trab.
AH = Summe der Amplituden rechts und links.
HD-Hunde - - - - gesunde Hunde ———

5. Beim Übergang vom Schritt zum Trab geht die Amplitude im Hüftgelenk bei den gesunden Hunden immer zurück, obwohl die Bewegungslänge hier regelmäßig vergrößert wird (siehe Abb. 17 und 21). Bei den HD-Hunden geht die Amplitude im Hüftgelenk beim Übergang vom Schritt zum Trab nur bei 4 Hunden zurück, bei Axel, Arko, Amsel und Ass steigt sie deutlich (siehe Abb. 21). Da diese Hunde gerade zu denen gehören, die besonders früh antraben, wurde mit Hilfe der linearen Regression die Amplitude im Hüftgelenk berechnet, die im Schritt bei der Bewegungslänge des langsamsten Trabes vorgelegen hätte. Es zeigt sich, daß bei den 4 genannten Hunden und ebenfalls beim HD-Hund Alf bei der Bewegungslänge des langsamsten Trabes eine gleichgroße Amplitude im Hüftgelenk vorliegt, wie bei Erreichen dieser Bewegungslänge im Schritt. Die Amplitude geht also nicht, wie bei den gesunden Hunden, im Trab zurück.

6. Die Tabellen 13 und 14 zeigen die Bewegungsamplituden im Knie- und im Sprunggelenk. Unter der Amplitude in diesen beiden Gelenken wird in dieser Untersuchung die Differenz zwischen dem Streckungsmaximum zum Zeitpunkt Fußen und der maximalen Beugung in der vorhergehenden Schwingphase verstanden (siehe Abb. 13 und 16). Es handelt sich um Mittelwerte aus 60-120 Stichproben von mindestens 3 verschiedenen Registrierungen pro Hund bei konstanter Geschwindigkeit im Schritt und im Trab.

Hund	Kniegelenk				Sprunggelenk			
	Schritt		Trab		Schritt		Trab	
	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links
Anke	34 ± 2	35 ± 3	67 ± 4	63 ± 4	35 ± 6	32 ± 3	67 ± 8	62 ± 7
Quick	38 ± 3	42 ± 3	65 ± 2	74 ± 5	29 ± 3	29 ± 5	52 ± 4	57 ± 8
Aspe	33 ± 4	33 ± 4	61 ± 5	53 ± 3	30 ± 3	24 ± 5	53 ± 9	51 ± 5
Lümmel	43 ± 3	41 ± 3	62 ± 2	64 ± 3	42 ± 4	38 ± 3	63 ± 6	60 ± 4
Terra	41 ± 4	39 ± 3	68 ± 3	59 ± 3	27 ± 5	28 ± 4	53 ± 4	47 ± 4

Tab. 13: Amplituden in Grad im Kniegelenk und im Sprunggelenk der gesunden Hunde

Hund	Kniegelenk				Sprunggelenk			
	Schritt		Trab		Schritt		Trab	
	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links
Arko	33 ± 3	38 ± 3	67 ± 4	64 ± 4	25 ± 4	24 ± 3	61 ± 7	46 ± 5
Amsel	47 ± 4	42 ± 3	74 ± 6	72 ± 4	29 ± 4	29 ± 4	54 ± 4	59 ± 4
Ass	38 ± 4	43 ± 4	60 ± 4	63 ± 3	32 ± 7	30 ± 5	48 ± 11	50 ± 7
Asta	47 ± 4	50 ± 5	78 ± 3	74 ± 5	40 ± 3	43 ± 4	66 ± 4	70 ± 4
Alf	40 ± 2	44 ± 4	70 ± 6	62 ± 5	25 ± 3	28 ± 6	47 ± 8	41 ± 8
Anka	50 ± 4	52 ± 5	73 ± 6	73 ± 4	46 ± 6	49 ± 4	71 ± 9	69 ± 8
Axel	29 ± 3	38 ± 3	58 ± 3	64 ± 2	20 ± 4	22 ± 6	38 ± 8	39 ± 4
Cord	42 ± 5	40 ± 5	86 ± 5	89 ± 8	35 ± 5	24 ± 4	74 ± 6	60 ± 6

Tab. 14: Amplituden in Grad im Kniegelenk und im Sprunggelenk der HD-Hunde

7. Beim qualitativen Vergleich der Goniogramme beider Gruppen, gesunde Hunde und Hunde mit Hüftgelenksdysplasie, waren im Kniegelenk und im Sprunggelenk unterscheidende Merkmale festzustellen. Im Hüftgelenk waren keine Formkriterien erkennbar. Im Kniegelenk gibt es zwei, für die HD-Hunde typische Muster*, die bei den gesunden Hunden praktisch nicht vorkommen. Die Tabelle 15 zeigt die Statistik dazu. Von jedem Hund wurde die gleiche Anzahl zufällig ausgewählter Schritte, verteilt auf beide Beine und alle Registrierungen eines Hundes, auf die Häufigkeit von drei verschiedenen Formklassen hin untersucht.

	n	III	IV	V
Gesunde Hunde	600	98 %	1,8 %	0,2 %
HD-Hunde	960	73 %	12 %	15 %

Tab. 15: Formkriterien im Kniegelenk. Prozentuale Häufigkeit der Muster* III, IV und V

c = Streckungsmaximum am Ende der Schwingphase

d = Streckungsmaximum gegen Ende der Fußungsphase

n = Anzahl der untersuchten Bewegungsfolgen

Die Tabelle zeigt Auswertungen von Trabregistrierungen bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Bei den sich immer wiederholenden Mustern des Kniegelenks im Trab lassen sich

---

* Ein Muster stellt die Registrierung der Gelenkwinkeländerung während einer Bewegungsfolge von der max. Beugung in der Schwingphase bis zur nächsten max. Beugung in der Schwingphase dar.

drei verschiedene Formen unterscheiden, die in der Tabelle 15 mit III, IV und V bezeichnet sind. Beim Muster III ist die Streckung des Kniegelenks am Ende der Schwingphase (c) größer als die Streckung gegen Ende der Fußungsphase (d). Beim Muster IV sind beide Streckungen gleich groß und im Muster V ist die Streckung am Ende der Schwingphase kleiner als die gegen Ende der Fußungsphase. Die Muster IV und V sind typisch für die Hunde mit Hüftgelenksdysplasie; allerdings tauchen sie nicht bei allen HD-Hunden auf. Sie erscheinen besonders bei 4 Hunden aus dieser Gruppe, bei denen sie zu etwa 50 % auftreten. Es sind dies Axel, Alf, Ass und Arko. Bei Cord tauchen sie nur in der auf Seite 54 beschriebenen Registrierung auf, die durch starke Ermüdung des Hundes gekennzeichnet war. Die Aufzeichnungen der Vorversuche bestätigen das gehäufte Auftreten der Muster IV und V in der Gruppe der HD-Hunde, während die gesunden Hunde hier zu 100 % das Muster III zeigten. Ausnahmen bei den Hunden mit Hüftgelenksdysplasie bilden hier nur die beiden älteren Hunde Cord und Anka.

Im Sprunggelenk wurde ein ähnliches Formkriterium festgestellt. Vergleicht man im Trab wieder die Streckungen des Gelenks zu den Zeitpunkten Fußen und Abheben, so fällt auf, daß 42 % der Bewegungsfolgen bei den Hunden mit Hüftgelenksdysplasie ein gegenüber dem Streckungsmaximum a (Streckung zum Zeitpunkt Auffußen) deutlich größeres Streckungsmaximum b (Streckung zum Zeitpunkt Abheben) haben. In der Tabelle 16 ist die Häufigkeitsverteilung verschiedener Sprunggelenksmuster im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec angegeben. Zum Muster II_2 gehören alle Bewegungsfolgen, bei denen b um mehr als 10 Winkelgrade größer ist als a. Zum Muster II_1 zählen alle Bewegungsfolgen mit einem 3-10° größerem Streckungsmaximum b und im Muster I sind alle Bewegungsfolgen zusammengefaßt, bei denen a größer als b oder bis zu 2° kleiner ist.

Das Muster II_2 kommt bei den gesunden Hunden auf dem Laufband überhaupt nicht vor; bei den HD-Hunden tritt es, abgesehen von einer Ausnahme, bei allen Tieren gehäuft auf. Der "herausfallende" Hund ist die Versuchshündin Anka. Das Muster I kommt bei den gesunden Hunden mit 76 % am häufigsten vor; bei den Hunden mit Hüftgelenksdysplasie ist es nur zu 19 % vertreten.

	n	I	II_1	II_2
Gesunde Hunde	600	76 %	24 %	-
HD-Hunde	960	19 %	39 %	42 %

Tab. 16: Formkriterien im Sprunggelenk.

a = Streckungsmaximum zum Zeitpunkt Fußen
b = Streckungsmaximum zum Zeitpunkt Abheben
n = Anzahl der untersuchten Bewegungsfolgen

Die Vorversuche stützen auch für das Sprunggelenk, unter Berücksichtigung des erwähnten Laufbandeinflusses auf die Sprunggelenksmuster, die Tendenz dieser Verteilungen. Bei Amsel und Asta verringert sich die Häufigkeit des für die HD-Hunde typischen Musters II_2 bei den Messungen auf dem Laufband im Vergleich zu den Registrierungen der Vorversuche. Das gilt auch für die Kniegelenksmuster IV und V.
Die Formkriterien in den Sprunggelenksgoniogrammen sind im Schritt ebenfalls vorhanden. Über 50 % der Bewegungsfolgen der HD-Hunde sind dem Muster II_2 zuzuordnen, das bei den gesunden Hunden auch im Schritt nicht auftritt. Beim Kniegelenk ist im Schritt die Formenvielfalt sehr groß, weshalb die statistische Auswertung nur an Trabregistrierungen vorgenommen wurde. Bei Arko und Ass fällt im Schritt eine früh-

zeitige, starke Streckung der Kniegelenke in der Fußungsphase auf. Bei Axel und Alf betrifft dies i.d.R. nur ein Bein.

Bewegungsfolgen der HD-Hunde mit den für diese Hunde typischen Mustern (HD-Muster) im Knie- und im Sprunggelenk sind im Hüftgelenk immer von einer großen Amplitude begleitet. Bei einigen Hunden erscheinen die HD-Muster bevorzugt auf einer Seite, die Goniogramme der anderen unterscheiden sich dann qualitativ nicht von denen gesunder Hunde. Stets findet sich die größere Amplitude im Hüftgelenk auf dem Bein mit den HD-Mustern. Gelegentlich kommen Wechsel dieser Verhältnisse vor, d.h. die HD-Muster im Knie- und im Sprunggelenk tauchen beim anderen Bein auf; sie sind dann auch dort wieder von einer größeren Amplitude im Hüftgelenk begleitet.

Zeichnet man die Stellung der Hinterextremitäten zu den Zeitpunkten Fußen und Abheben mit den gemessenen Winkeln und Knochenlängen der einzelnen Versuchshunde, wird deutlich, daß Goniogramme mit HD-Mustern Bewegungsfolgen kennzeichnen, bei denen das fußende Bein stärker gebeugt und nur wenig vor einer Senkrechten durch das Hüftgelenk aufgesetzt wird; während der Stemmphase wird es dann besonders stark gestreckt. Die Abbildung 24 zeigt ein Beispiel für die Stellung der linken Hintergliedmaße des HD-Hundes Alf zu den Zeitpunkten Fußen und Abheben im Trab bei 2,47 m/sec Laufgeschwindigkeit. (In den Goniogrammen von Alf finden sich die HD-Muster im Knie- und im Sprunggelenk). Bei der Konstruktion der Gliedmaßenstellung aus den gemessenen Daten wurde vorausgesetzt, daß sich die Lage des Beckens zur Senkrechten beim Fußen und Abheben nicht unterscheidet. Aus der Verbindung der beiden Extremitätenenden ergibt sich somit die Neigung des Beckens.

In der Abbildung 25 ist die Stellung der linken Hintergliedmaße eines gesunden Hundes beim Fußen und Abheben dargestellt. Man erkennt, daß der gesunde Hund weit nach vorn untertritt

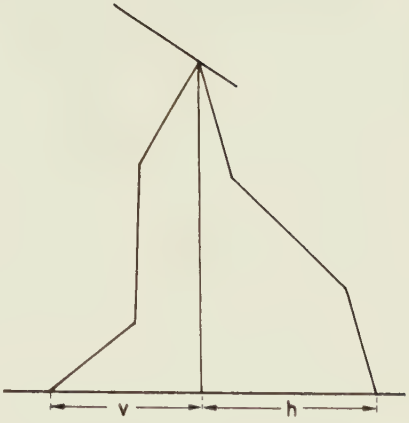


Abb. 24: Beispiel für die Stellung der Hintergliedmaße zu den Zeitpunkten Fußen und Abheben bei einem HD-Hund

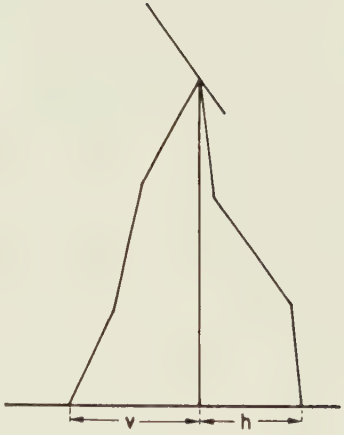


Abb. 25: Beispiel für die Stellung der Hintergliedmaße zu den Zeitpunkten Fußen und Abheben bei einem gesunden Hund.

v = Abstand: fußende Pfote - Senkrechte durch das Hüftgelenk

h = Abstand: abhebende Pfote - Senkrechte durch das Hüftgelenk

und das Bein weniger gestreckt abhebt als er es aufsetzt. Die Strecke zwischen dem Fußungspunkt der aufsetzenden Pfote und dem Schnittpunkt mit der Senkrechten durch das Hüftgelenk (v) ist größer als die zwischen diesem Schnittpunkt und dem Bodenberührungspunkt der abhebenden Pfote (h). Der Quotient $\frac{v}{h}$ beträgt 1,26. Beim HD-Hund (Abb. 24) wird das abhebende Bein stark gestreckt und das fußende nur wenig vor der Senkrechten aufgesetzt. Der Quotient $\frac{v}{h}$ beträgt in diesem Fall 0,85.

Die Tabellen 17 und 18 zeigen eine Zusammenstellung des Quotienten $\frac{v}{h}$ aus den Laufbandregistrierungen aller Versuchshunde. Die Strecken v und h wurden aus Zeichnungen der Gliedmaßenstellung ermittelt. Die Gliedmaßenstellung ergab sich aus den Mittelwerten der Winkel im Hüft-, Knie- und Sprunggelenk aus jeweils 10-20 Schritten im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec.
Bei den Hunden mit Hüftgelenksdysplasie ist der Quotient $\frac{v}{h}$ für beide Hinterextremitäten zu 37 % ≤ 1 und nur zu 30 % > 1. Bei den HD-freien Hunden liegen zu 92 % Registrierungen mit einem Quotienten $\frac{v}{h} > 1$ auf beiden Beinen vor. Bei den HD-Hunden wird demnach zu einem großen Prozentsatz die vorführende Schrittphase zugunsten der rückführenden verkürzt.

Der Winkel, den das Becken mit der Senkrechten bildet, beträgt im Mittel bei den gesunden Hunden 131° $\pm$ 6°, in der Gruppe der HD-Hunde 123° $\pm$ 7°. Der gesunde Versuchshund Anke zeichnet sich durch eine besonders steile Beckenstellung aus. Cord, Axel und Arko, aus der Gruppe der HD-Hunde fallen durch ein besonders flaches Becken auf. Da die Zehengelenke nicht berücksichtigt wurden, entspricht die konstruierte Gliedmaßenstellung und damit der Quotient $\frac{v}{h}$ und die Senkung des Beckens nicht ganz den wahren Verhältnissen. Es kommt hier jedoch auf den Vergleich der beiden Hundegruppen an, der möglich ist, da dieser Fehler alle Hunde etwa gleich betrifft.

Hund	Registrierung Nr.	v/h rechtes Bein	v/h linkes Bein
Asta	1	1,09	1,06
	2	1,03	1,01
	3	1,14	1,02
	4	1,07	1,00
Amsel	1	1,03	1,00
	2	0,96	0,99
	3	1,04	1,06
	4	1,03	1,01
Cord	1	1,01	0,97
	2	0,99	1,02
	3	1,00	0,97
	4	0,99	1,00
	5	1,03	0,93
Ass	1	0,87	
	2	0,91	0,89
	3	0,91	
	4	0,91	
	5	1,06	1,09
	6	1,00	1,01
Axel	1	0,89	
	2	0,96	0,90
	3	0,99	0,89
	4	1,02	0,89
Arko	1	0,97	0,97
	2	0,99	0,90
	3	1,03	
	4	1,01	
	5	1,02	0,92
Alf	1	1,00	0,84
	2	1,02	0,94
	3	1,06	0,85
	4	0,84	0,81
	5	0,76	0,78
Anka	1	0,98	
	2	1,08	1,20
	3	1,12	
	4	1,09	1,25
	5	1,26	1,06

Tab. 17: Quotient $\frac{v}{h}$ der Hunde mit Hüftgelenksdysplasie

Hund	Registrierung Nr.	v/h rechtes Bein	v/h linkes Bein
Quick	1	1,24	1,38
	2	1,13	1,23
	3	1,10	1,25
	4	1,14	1,23
Terra	1	1,23	1,16
	2	1,11	1,14
	3	1,11	1,11
	4	1,20	1,15
Anke	1	1,22	1,26
	2	1,12	1,12
	3	1,25	1,15
	4	1,17	1,12
	5	1,17	1,30
Aspe	1	1,09	1,07
	2	1,05	1,23
	3	1,03	1,03
	4	1,01	1,08
	5	0,99	1,06
Lümmel	1	1,13	1,30
	2	1,07	1,13
	3	1,00	1,07
	4	1,10	1,24
	5	1,09	1,19
	6	1,09	1,13

Tab. 18: Quotient $\frac{v}{h}$ der HD-freien Hunde

8. Die Hunde mit Hüftgelenksdysplasie zeigten während der Bewegung ausnahmslos eine auffällig gesenkte Kopfhaltung und z.T. eine bodenweite Fußung.

5. Diskussion der Ergebnisse

Die registrierten Goniogramme stimmen in der Form mit denen früherer Untersucher überein (ADRIAN et al. 1966, TOKURIKI 1973 a u. b, WENTINK 1976 u. 1977). Der Beginn der Fußungsphase liegt in der hier vorgelegten Untersuchung allerdings, in Übereinstimmung mit WENTINK und TOKURIKI, etwas später als bei ADRIAN et al. (1966). In der Literatur finden sich unterschiedliche Angaben darüber, ob der Hund zuerst mit den Zehenballen oder dem Sohlenballen fußt. Auch bei den hier untersuchten Hunden war die Reihenfolge nicht einheitlich. I.d.R. handelte es sich jedoch um eine gleichzeitige Fußung. Eine nennenswerte zeitliche Differenz trat erst bei höheren Laufgeschwindigkeiten auf. In der vorliegenden Arbeit wurde als Beginn der Fußungsphase der Zeitpunkt festgelegt, an dem die Belastung des zuletzt fußenden Ballens einsetzte. Das ist möglicherweise die Ursache für den gegenüber ADRIAN et al. (1966) unterschiedlichen Beginn der Fußungsphase.

Bezüglich der Größe der Winkel hat sich während der dieser Arbeit zugrundeliegenden Messungen ein großes Einflußspektrum herausgestellt. Gangart und Geschwindigkeit sind wesentliche, jedoch nicht allein ausschlaggebende, Faktoren, die die Gelenkbewegung während der Lokomotion beeinflussen. Vor allem der Einfluß der Geschwindigkeit zwang zur Untersuchung der Hunde auf dem Laufband, wodurch die Registrierungen gleichförmiger und statistisch besser auswertbar wurden. Dies trifft vor allem für die Hunde mit Hüftgelenksdysplasie zu. Die Beeinflussung der Lokomotion durch das Laufband war also für diese Hunde stärker. Da die untersuchten Geschwindigkeitsbereiche und der ebene Untergrund außerdem eine geringe Belastung für die Hunde darstellten, ist sogar eine Reduktion eventuell vorhandener Bewegungsstörungen durch die standardisierten Versuchsbedingungen denkbar. Die größere Variabilität der einzelnen Schritte bei den Hunden mit Hüftgelenksdysplasie ist dennoch deutlich und betrifft auch

die Versuchshündin Anka. Sie dürfte eine Folge der Instabilität des Hüftgelenks und die Ursache für den von vielen Untersuchern erwähnten schwankenden Gang der HD-Hunde sein. Nach ROY (1971) stellt die bodenweite Fußung der Hintergliedmaßen eine Kompensation der Instabilität des Hüftgelenks dar. Die Beeinträchtigung beider Hüftgelenke führt zusätzlich zu einer ungleichen Belastung der Hinterbeine, wobei das stärker belastete Bein gewechselt wird.
Alle anderen genannten Besonderheiten der Lokomotion der untersuchten HD-Hunde weisen meiner Meinung nach auf eine Tendenz zur Entlastung der Hinterhand hin.
Die Verkürzung des Schritts nach vorn gilt gewöhnlich als Zeichen einer Hangbeinlahmheit. Hier, also bei Vorliegen eines schmerzhaften Prozesses in den Hüftgelenken beider Seiten, ist sie jedoch anders zu interpretieren. Durch die Verkürzung der vorführenden Schrittphase wird auch die Stützphase verkürzt und erleichtert, da durch die starke Streckung des stemmenden Beines der Schwerpunkt weiter nach vorn verlagert wird. Vermutlich ist für den HD-Hund die gesamte Fußungsphase schmerzhaft, da in dieser Phase, durch die Instabilität des Gelenks, an der sensibel innervierten Gelenkkapsel gezerrt wird, die, wegen der Deformation der Pfanne, unter Umständen tragende Funktionen übernehmen muß. In der Stemmphase liegt der Schwerpunkt bereits weiter vorn als in der Stützphase. Es ist daher anzunehmen, daß die größte Schmerzhaftigkeit in der Stützphase auftritt, was die Ergebnisse zu bestätigen scheinen.
Auch in dieser Untersuchung ergaben sich wieder Hinweise für einen Zusammenhang zwischen der Hüftgelenksdysplasie und einer zu flachen Beckenstellung. Da die Beckenneigung unter Umständen die Stellung der ganzen Gliedmaße beeinflußt, ist die Verkürzung des Schritts nach vorn auch unter diesem Gesichtspunkt zu sehen. Ein Hund mit einem flach stehendem Becken muß die Bewegung des Oberschenkels nach vorn verkürzen

und nach hinten entsprechend verlängern, um den gleichen Bereich im Acetabulum zu belasten wie ein Hund mit steiler Beckenstellung (siehe Abb. 26).

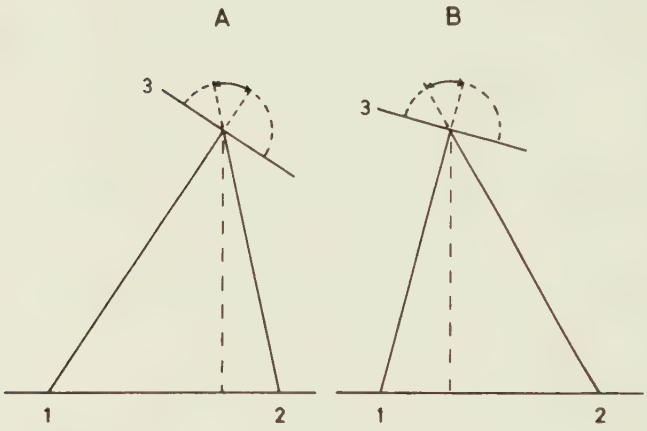


Abb. 26: Femurstellung in Beziehung zur Senkrechten bei steiler (A) und bei flacher (B) Beckenneigung.
1 = maximale Protraktion des Femur
2 = maximale Retraktion des Femur
3 = Beckenachse ↔ belasteter Acetabulumbereich

Die Verkürzung der vorführenden Schrittphase kommt bei den HD-Hunden jedoch durch eine starke Beugung beim Auffußen in allen drei untersuchten Gelenken zustande (siehe Abb. 24). Die vorliegenden Winkelmessungen unterstützen daher die Hypothese, daß die Belastung des Acetabulum bei den Hunden mit Hüftgelenksdysplasie in eine weniger widerstandsfähige Region der Pfanne verlagert sein könnte. Das Photo der Beckenknochen des Versuchshundes Cord im Alter von 10 Jahren

auf Seite 29 zeigt eindrucksvoll, in welche Richtung die vom Femur auf die Wirbelsäule übertragene Kraft wirkte. Die knöcherne Verstärkung der Gelenkkapsel befindet sich hauptsächlich im dorsalen Bereich des kaum noch erkennbaren Acetabulum.

Die bei vorgegebener konstanter Geschwindigkeit ermittelten Schrittfrequenzen aller Versuchshunde liegen in dem von HORN (1956) für einen Deutschen Schäferhund angegebenen Bereich. Die Unterschiede in der Schrittfrequenz zwischen der Gruppe der HD-Hunde und der gesunden Hunde sind jedoch deutlich. Aus zwei Gründen könnte es für einen Hund mit Hüftgelenksdysplasie sinnvoll sein, eine bestimmte Geschwindigkeit mit möglichst geringer Schrittfrequenz einzuhalten.

1. Da die größte Schmerzhaftigkeit offenbar während der Stützphase eines Beines auftritt, reduziert eine niedrige Frequenz die Zahl und damit die Gesamtdauer der Schmerzereignisse.

2. Die Belastung eines Beines ist abhängig von der Zahl der fußenden Gliedmaßen. Je weniger Gliedmaßen gleichzeitig fußen, umso größer wird die Last pro Gliedmaße. Nach den Untersuchungen über die Lokomotion des Hundes aus dem Veterinär-Physiologischen Institut in Gießen (HORN 1956, FISCHER 1957, BRANDENBURG 1957, KOSUBEK 1962) nimmt im Schritt der prozentuale Anteil der Zweibeinstützen innerhalb einer Bewegungsfolge mit steigender Geschwindigkeit zu und der Anteil der Konstellationen mit drei und vier unterstützenden Beinen entsprechend ab. Der entscheidende Faktor für die prozentuale Abnahme der Drei- und Vierbeinstützen bei steigender Geschwindigkeit ist meiner Meinung nach die gleichzeitig steigende Frequenz. Je schneller die Fußfolge des Schritts ausgeführt wird, umso häufiger sind die Phasen, in denen nur zwei Gliedmaßen den Boden berühren. Durch eine niedrig gehaltene Schrittfrequenz vermeiden die Hunde mit Hüftgelenksdysplasie daher das häufigere Auftreten von Zweibeinstützen und bevorzugen Stützkonstellationen, bei denen das Gewicht auf 3 oder 4 Gliedmaßen verteilt wird.

Im Ergebnisteil wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Schrittfrequenzunterschiede unabhängig von der Größe der Hunde sind. Eine weitere noch denkbare Ursache der unterschiedlichen Schrittfrequenzen möchte ich ebenfalls ausschließen. Die Schrittfrequenz ist nämlich auch abhängig von der Winkelung der Gliedmaßen.
Ein Hund mit einer steil gestellten Hinterhand kann seine Schrittlänge nur begrenzt erhöhen, weshalb ein solcher Hund, im Vergleich zu einem gut gewinkelten, dieselbe Geschwindigkeit mit höherer Frequenz erreichen wird. Die untersuchten Deutsch-Drahthaarigen Vorstehhunde wiesen alle eine vergleichbar gut gewinkelte Hinterhand auf.
Wenn nun die HD-Hunde die Zunahme der Zweibeinstützen im Schritt vermeiden, warum traben sie dann eher an? Das ist zunächst ein Widerspruch, weil im Trab nur noch Zweibeinstützen vorkommen und außerdem die Frequenz im Vergleich zum Schritt stark erhöht wird. Im Schritt wird jedoch der Körperschwerpunkt vertikal und horizontal bewegt und befindet sich während der hinteren Dreibeinstützen am weitesten nach hinten verlagert. Zweibeinstützen kombiniert mit horizontalen Schwerpunktsverlagerungen machen daher den schnellen Schritt, meiner Meinung nach, zu einer problematischen Gangart für HD-Hunde. Im langsamen Trab sind die Belastungsverhältnisse für die Hinterhand zunächst günstiger. Die Stützkonstellationen im Trab bestehen zwar nur noch aus Zweibeinstützen, dafür liegt der Schwerpunkt weiter vorn und wird fast ausschließlich vertikal verlagert (HORN 1956, BRANDENBURG 1957). Eine Erhöhung der Belastung pro Gliedmaße tritt durch die Verkürzung der Fußungszeit - im Trab verkürzt sich die Fußungszeit gegenüber dem Schritt - wegen der starken Frequenzerhöhung und der damit verbundenen Schrittverkürzung zunächst nicht auf.
Die Amplitude im Hüftgelenk ist bei gleicher Geschwindigkeit im Schritt und im Trab bei den HD-Hunden deutlich größer.

Da diese Hunde aber niedrige Schrittfrequenzen und damit größere Bewegungslängen bevorzugen, ist der Vergleich nur bei gleichgroßen Bewegungslängen sinnvoll. Auffällig größer als in der Gruppe der gesunden Hunde ist die Amplitude im Hüftgelenk also nur im Trab.
Unter Punkt 7 der Ergebnisse konnte gezeigt werden, daß die qualitativen Merkmale der Goniogramme vom Trab im Knie- und im Sprunggelenk bei den HD-Hunden durch eine Verkürzung der vorführenden Schrittphase zugunsten der rückführenden zustande kommen. Dies bedeutet eine Entlastung der Hintergliedmaßen in der Stützphase, da der Schwerpunkt vor der Fußung weiter nach vorn als bei den gesunden Hunden verlagert wird. Unterstützt wird diese Schwerpunktsverlagerung noch durch die Kopfhaltung. Die Abbildung 27 zeigt, daß eine derartige Gliedmaßenführung eine größere Amplitude im Hüftgelenk bedingt, wenn die Streckung des abstemmenden Beines besonders das Hüft- und das Kniegelenk betrifft.
Im Trab kommt noch ein weiterer die Amplitude im Hüftgelenk bei den HD-Hunden vergrößernder Faktor hinzu. Wenn bei den gesunden Hunden die Amplitude im Hüftgelenk beim Übergang vom Schritt zum Trab zurückgeht, obwohl die Bewegungslänge hier regelmäßig gesteigert wird, so läßt sich das nur mit der im Trab auftretenden Schwebephase erklären. Ein Teil der Bewegungslänge wird in einer Phase zurückgelegt, in der keine Gliedmaße den Boden berührt. Die Vergrößerung der Bewegungslänge wird in diesem Fall durch ein kurzes, entsprechend kräftiges Abstemmen erreicht. Ohne Schwebephase kann die Bewegungslänge nur durch weites Vorgreifen des fußenden Beines und entsprechend langes Schieben des abstemmenden Beines gesteigert werden, was unter anderem auch die Amplitude im Hüftgelenk vergrößert. Da die Amplitude bei 5 von 8 HD-Hunden beim Übergang zum Trab nicht zurückgeht, muß bei diesen Hunden die Schwebephase kürzer oder nicht vorhanden sein. Dies bedeutet eine Entlastung der Gliedmaßen beim Abstemmen, da der Schwerpunkt für eine Schwebephase stärker beschleunigt werden muß. Beim Versuchshund Amsel

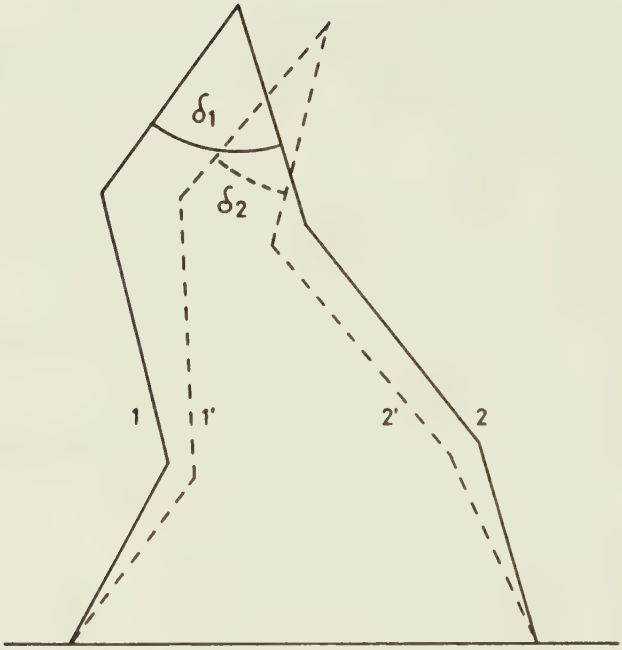


Abb. 27: Amplitude im Hüftgelenk bei unterschiedlicher Winkelung der Hintergliedmaßen zu den Zeitpunkten Fußen und Abheben.

δ_1 = Amplitude im Hüftgelenk bei $\frac{v}{h} < 1$

δ_2 = Amplitude im Hüftgelenk bei $\frac{v}{h} > 1$

1 u. 1' = fußende Hintergliedmaße
2 u. 2' = abhebende Hintergliedmaße

ließ sich das Fehlen einer Schwebephase in den ersten zwei Trabgeschwindigkeitsstufen in den Registrierungen nachweisen, da bei diesem Hund die Fußungsphase länger andauert als die Schwingphase. Für die anderen Hunde ist die Messung der Schwebezeit aus den vorhandenen Registrierungen zu ungenau.

Meiner Meinung nach ist die im Trab größere Amplitude im Hüftgelenk bei den HD-Hunden also einmal durch eine, gegenüber den gesunden Hunden, verkürzte Schwebephase bedingt und zum anderen durch die beschriebene Stellung der Hintergliedmaßen beim Auffußen und Abheben.
Das Vorverlagern des Schwerpunktes ist von der stemmenden Gliedmaße allerdings auch durch bevorzugtes Strecken des Sprunggelenks möglich. Diese Möglichkeit ist in der Abbildung 28 durch die unterbrochene Linie dargestellt.

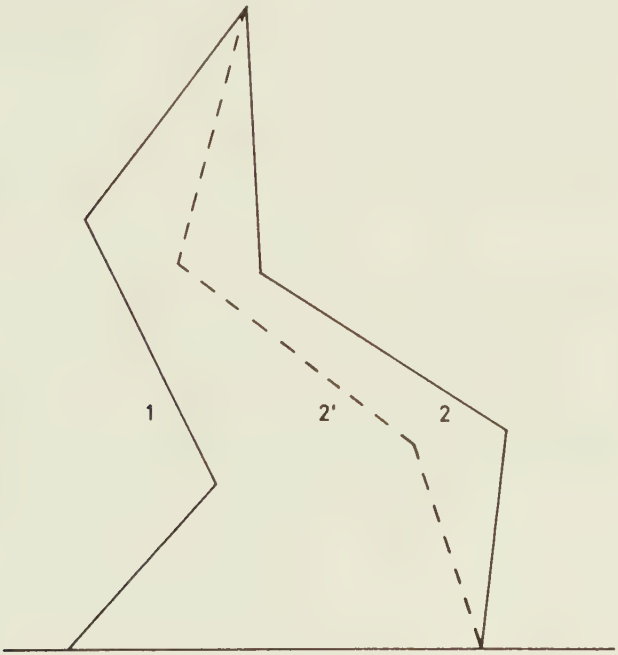


Abb. 28: Abstemmen mit verstärkter Streckung des Sprunggelenks.

1 = fußende Hintergliedmaße
2 = abhebende Hintergliedmaße
2' = abhebende Hintergliedmaße mit stark gestrecktem Sprunggelenk.

In diesem Fall muß die Amplitude im Hüftgelenk nicht auffällig groß sein. Das ist vielleicht der Grund, warum die Amplitude im Hüftgelenk im Schritt bei den HD-Hunden nicht höher liegt. Möglicherweise reicht es im langsamen Schritt aus, das Sprunggelenk verstärkt zu strecken, um den Schwerpunkt nach vorn zu verlagern. Der schnelle Schritt wird vermieden und erst im Trab tritt eine verstärkte Streckung des Hüftgelenks und des Kniegelenks auf.
Der HD-Hund Cord nutzte im Schritt und im Trab i.d.R. nur die verstärkte Sprunggelenksstreckung in der Stemmphase. Die extreme Streckung des Sprunggelenks am Ende der Fußungsphase wurde in der Schwingphase durch ein schnelleres Beugen beim Anschwingen ausgeglichen. Das ist die Ursache für das ruckartige Anheben der Hinterbeine, durch das dieser Hund auffiel; bzw. für den von vielen Untersuchern beobachteten "hahnenartigen Tritt" mancher Hunde mit Hüftgelenksdysplasie.
Es bleibt festzuhalten, daß die Versuchshündin Anka in nahezu allen Punkten eine Ausnahme in der Gruppe der HD-Hunde bildet. Bei diesem Hund finden sich nur vereinzelte Bewegungsfolgen mit den typischen HD-Mustern, eine größere Variabilität der einzelnen Schritte und eine auffallend gesenkte Kopfhaltung. Anka unterscheidet sich von den übrigen Hunden in drei Punkten: Sie hat als einziger Hund mittelschwere HD und wurde nicht wie die anderen Hunde mit Hüftgelenksdysplasie im Zwinger gehalten; sie bekam also etwas mehr Auslauf. Außerdem war Anka zum Zeitpunkt der Registrierungen wesentlich älter, was allerdings auch für den Hund Cord zutrifft.
Anka bestätigt die klinische Erfahrung, daß Bewegungsstörungen bei HD-Hunden nicht immer vorliegen müssen.
Bei diesem Hund waren im Alter von 6 Jahren im Röntgenbild der Hüftgelenke, trotz deutlicher Subluxationsstellung, noch keine Anzeichen für eine Coxarthrose zu erkennen. Durch ständige

leichtes Lauftraining dürfte sich aber eine Verstärkung der Gelenkkapsel eingestellt haben. Auch beim Versuchshund Ass ist ein solcher Trainingseffekt anzunehmen. Während dieser Hund, mit dem Befund "leichte HD", im Alter von 2 Jahren die Symptome der Entlastung der Hinterhand noch deutlich zeigte, trat bei den späteren Messungen, nach 8 monatigem regelmäßigen Auslauf, eine Reduktion der Symptome ein. Mit der vorgestellten Methode lassen sich also bei Hunden mit Hüftgelenksdysplasie in schmerzhaften Phasen der Erkrankung Symptome für eine Entlastung der Hinterhand nachweisen. Allerdings sollten die Bewegungsvorgänge während der Untersuchung Schmerzen in instabilen Gelenken stärker provozieren als es bei den Versuchsbedingungen der vorliegenden Arbeit der Fall war.

Die Chance, Tiere mit geringen funktionellen Instabilitäten im Alter von 1-2 Jahren in einer schmerzhaften Phase anzutreffen, ist meiner Ansicht nach groß, da sich diese Tiere dann immer noch in der ersten Schmerzphase befinden, die durch Gelenkkapseldehnungen und entzündliche Reaktionen der Synovialis hervorgerufen wird. Für die Häufigkeit von Bewegungsstörungen bei Hunden gerade mit geringen Instabilitäten spricht auch die Betonung der geringen Korrelation zwischen den klinischen Symptomen und den pathologisch-anatomisch sichtbaren Veränderungen am Hüftgelenk durch viele Untersucher.

6. Zusammenfassung

Die Arbeit hatte zwei Ziele. Einmal bestand die Absicht, am Hund eine einfache elektrogoniometrische Methode, d.h. die Aufzeichnung der Gelenkwinkeländerungen in der Bewegung mit Potentiometern, auf ihre Genauigkeit zu untersuchen, zweitens sollte geklärt werden, ob mit dieser Methode Besonderheiten der Lokomotion von Hunden mit Hüftgelenksdysplasie nachgewiesen werden können.

An insgesamt 18 Deutsch-Drahthaarigen Vorstehhunden wurden die Gelenkwinkeländerungen im Hüft-, Knie- und Sprunggelenk beider Hinterextremitäten in der sagittalen Ebene während der Bewegung im Schritt und im Trab registriert. Die potentiometrische Messung der Gelenkwinkel wurde ergänzt durch die Registrierung der Pfotenbelastung mittels kleiner DMS-Druckmeßdosen, die den Hunden auf die Zehen- und Sohlenballen geklebt wurden. Auf diese Weise ergab sich auch ohne aufwendige photographische Bewegungsregistrierung die Möglichkeit einer genauen Interpretation der Goniogramme, d.h. es konnten in ihnen Fußungsphase und Schwingphase identifiziert werden.

Die potentiometrische Gelenkwinkelmessung ist in dieser Untersuchung mit einem Fehler von $\pm$ 2° im Hüftgelenk und $\pm$ 4° im Knie- und im Sprunggelenk möglich gewesen.

Nach umfangreichen Untersuchungen zur Genauigkeit der Methode wurden die Faktoren ermittelt, die die Goniogramme beeinflussen. Für jedes Gelenk ergab sich ein bestimmtes Grundmuster, das durch Gangart, Schrittfrequenz bzw. Bewegungslänge, sowie durch Schrägstellen der Körperachse zur Fortbewegungsrichtung qualitativ und quantitativ variiert wurde.

Auch durch eine provozierte Änderung der Stimmungslage des Hundes konnte auf die Goniogramme meßbar eingewirkt werden. Während die Hunde in Vorversuchen auf festem Boden liefen, stand später ein Laufband zur Verfügung. Beim Vergleich der Registrierungen aus den Vorversuchen auf festem Boden mit

den Laufbandregistrierungen ergab sich ein Laufbandeinfluß im Sprunggelenk.
Zur Klärung der Frage, ob mit dieser Methode Besonderheiten der Lokomotion von Hunden mit Hüftgelenksdysplasie nachgewiesen werden können, wurden die unter vergleichbaren Bedingungen auf einem Laufband registrierten Goniogramme von 5 gesunden Hunden mit denen von 8 Hunden mit röntgenologisch nachgewiesener Hüftgelenksdysplasie verglichen.
Der Vergleich ergibt qualitative Unterschiede in den Goniogrammen vom Knie- und vom Sprunggelenk, die zusammen mit einer größeren Amplitude im Hüftgelenk bei den HD-Hunden auf eine die Hinterhand entlastende Stellung der Hintergliedmaße zu Beginn und am Ende der Fußungsphase hinweisen. Die vorführende Schrittphase der Hinterextremitäten wird zugunsten der rückführenden räumlich verkürzt. Die Verlängerung der rückführenden Schrittphase wird entweder durch eine starke Streckung des Hüft-, Knie- und Sprunggelenks in der Stemmphase erreicht oder durch eine extreme Streckung des Sprunggelenks in dieser Phase. Die extreme Sprunggelenksstreckung wird in der anschließenden Schwingphase durch ein schnelles Beugen des Gelenks beim Anschwingen ausgeglichen. Dies ist die Ursache für den "hahnenartigen Tritt", der von vielen Untersuchern beobachtet wurde. Mit einer Ausnahme haben die kranken Hunde bei gleicher Laufbandgeschwindigkeit niedrigere Schrittfrequenzen, also größere Bewegungslängen, als die gesunden Hunde. Der Bewegungsablauf ist bei den gesunden Tieren gleichmäßiger. Das Verhalten der Amplitude im Hüftgelenk beim Übergang vom Schritt zum Trab weist auf eine Reduzierung der Schwebephase bei 5 Tieren hin.
Bei 6 kranken Hunden zeigt sich die Tendenz, bereits bei niedrigeren Geschwindigkeiten anzutraben und damit den schnellen Schritt zu vermeiden.
Die Formkriterien im Knie- und im Sprunggelenk sind ein Indiz für eine Schwerpunktverlagerung auf die Vordergliedmaßen.

Bei ihrem Vorliegen besteht begründeter Verdacht auf einen schmerzhaften Prozess in der Hinterhand.
Allerdings haben nur 5 der 8 Hunde mit röntgenologisch nachgewiesener HD diese Kompensationsform deutlich gezeigt, darunter zwei Tiere mit "leichter HD".
Mit der vorgestellten Methode lassen sich bei Hunden mit Hüftgelenksdysplasie in schmerzhaften Phasen der Erkrankung Symptome für eine Entlastung der Hinterhand nachweisen.

7. Summary

The two main objectives of this investigation were, firstly to examine the accuracy of a simple electrogoniometric method applied to the dog that determines the registration of variations in joint angles during movement by potentiometers; and secondly to clarify if locomotive particularities of dogs with hip dysplasia can be detected by this method.
Using 18 German Wirehaired Pointers changes of joint angles in the sagittal plane of hip, stifle and hock joint of both hind extremities were recorded during walking and trotting.
The potentiometric measurement of joint angles was supplemented by the registration of forces exerted by the pads to the ground. In this way the goniograms could be exactly interpreted without expensive photographic recordings of movement, swing phase and support phase could be recognized.
In this investigation the potentiometric measurement of joint angles had been affected with a deviation of $\pm$ 2° in the hip joint and $\pm$ 4° in the stifle and hock joint.
For every joint there was a certain basic pattern varied by gait, frequency and length of steps as well as turning the axis of body from line of travel. By also provoking changes in the dogs mood the goniograms could be influenced measurably. While in preliminary experiments the dogs ran on solid ground, later a treadmill was used. In comparison an influence of the treadmill upon hock joint goniograms could be detected.

The goniograms registered with a treadmill on comparable conditions of 5 unaffected dogs were compared with those of 8 dogs with hip dysplasia. The comparison demonstrated qualitative differences in the goniograms of stifle and hock joint. These differences in connection with a bigger amplitude in the hip joint of dogs with hip dysplasia point to an unburdening position of the hind extremities at both beginning and ending of support phase. The protraction is shortened in favour of retraction. The prolongation of retraction is managed either by large extension of the hip,

stifle and hock at the last part of support phase or by extreme extension of hock joint in the same phase. An extreme extension of the hock is compensated by quicker flexing at the beginning of the following phase. This is the reason for "high stepping" that had been observed by many investigators.

Apart from one exception the affected dogs showed lower step frequencies than the unaffected dogs ran with same speed. Motion of unaffected dogs had been more uniform. Attitude of amplitude in the hip joint during change from walk to trot, points to a reduction of suspension phase watched with 5 animals. Six of the affected dogs tended to avoid faster walking.

The qualitative differences in the goniograms of stifle and hock joint are symptomatic of weight shifting to the front legs. Under these considerations, a painful process in the hind legs can be suspected. In this investigation this way of compensation had not been watched to all dogs with hip dysplasia. However, if the dog is in a painful phase of this disease the described method is able to demonstrate symptoms of relieving the hind legs in dogs with hip dysplasia.

8. Literaturverzeichnis[x)]

ADRIAN, M., B. GRANT, M. RATZLAFF, J. RAY u. C. BOULTON (1977): Electrogoniometric analysis of equine metacarpophalangeal joint lameness. Am. J. vet. Res. 38, 431 - 435

ADRIAN, M., u. P.V. KARPOVICH (1964): Effect of walking in cowboy boots on the knee action. Res. Q. Exercise Sport 35, 398 - 402

ADRIAN, M., W.E. ROY u. P.V. KARPOVICH (1966): Normal gait of the dog: an electrogoniometric study. Am. J. vet. Res. 27, 90 - 95

ALEXANDER, R.McN. (1974): The mechanics of jumping by a dog (canis familiaris). J. Zool. Lond. 173, 549 - 573

BARCLAY, O.R. (1953): Some aspects of the mechanics of mammalian locomotion. J. Exp. Biol. 30, 116 - 120

BARDENS, J.W., u. H. HARDWICK (1968): New observations on the diagnosis and cause of hip dysplasia. Vet. Med. Small Anim. Clin. 63, 238 - 245

BOIS-REYMOND, R. du (1930): Ortsbewegung der Säugetiere, Vögel, Reptilien und Amphibien. In: Handbuch der Normalen und Pathologischen Physiologie. Bd. XV/1, Springer Verlag, Berlin, S. 236 - 266

---

x) Zeitschriftenabkürzungen gemäß:

1. List of Journals Indexed in Index Medicus. Nat. Library of Medicine, Bethesda, Md. 1983.
2. Serial Sources for the BIOSIS Data Base. Biosciences Information Service, Philadelphia, Pa. 1982.

BÖRNFORS, S., K. PALSSON u. G. SKUDE (1964): Hereditary aspects of hip dysplasia in german shepherd dogs. J. Am. Vet. Med. Assoc. 145, 15 - 20

BRANDENBURG, L. (1957): Die Analyse der Bewegungsarten des Deutschen Schäferhundes. Gießen, Univ., Veterinärmed. Fak., Diss.

BRASS, W., U. FREUDIGER, L.F. MÜLLER, S. PAATSAMA, N.A. van der VELDEN u. C.C. van de WATERING (1978): Bericht der Hüftgelenkdysplasie-Kommission. Kleintierpraxis 23, 169 - 180

BUDRAS, K.D., u. W. FRICKE (1983): Atlas der Anatomie des Hundes: Kompendium für Tierärzte und Studierende. Schlütersche Verlagsanstalt, Hannover, S. 3

CARDINET, G.H., L.J. WALLACE, M.R. FEDDE, M.M. GUFFY u. J.W. BARDENS (1969): Developmental myopathy in the canine with type II muscle fiber hypotrophy. Arch. Neurol. 21, 620 - 630

CAVANAGH, P.R., u. D.W. GRIEVE (1973): The graphical display of angular movement of the body. Br. J. Sports Med. 7, 129 - 133

CRANE ELECTRONICS (1976): Polarised-light goniometer. mbe news, Med. Biol. Eng. Comput., July N9

DÄMMRICH, K. (1976): Zur Pathogenese der Arthropathia deformans bei Haustieren. Kleintierpraxis 21, 158 - 166

DÄMMRICH, K. (1979): Wachstumsstörungen des Skeletts bei großwüchsigen Hunderassen. Report. Effem-Forschung für Kleintiernahrung 9, 1 - 7

DIETZ, O. (1975): Krankheiten der Hintergliedmaßen.
In: W. BOLZ, O. DIETZ, H. SCHLEITER u. R. TEUSCHER:
Lehrbuch der Speziellen Veterinärchirurgie.
2. Aufl., Bd. 2, Fischer Verlag, Stuttgart,
S. 746 - 756

FINLEY, F.R., u. P.V. KARPOVICH (1964): Electrogoniometric analysis of normal and pathological gaits.
Res. Q. Exercise Sport 35, 379 - 384

FISCHER, F.A. (1957): Über Bewegungsvorgänge bei Hunden.
Gießen, Univ., Veterinärmed. Fak., Diss.

GOLLNICK, P.D., u. P.V. KARPOVICH (1964): Electrogoniometric study of locomotion and some athletic movements.
Res. Q. Exercise Sport 35, 357 - 369

GOLLNICK, P.D., C.M. TIPTON u. P.V. KARPOVICH (1964):
Electrogoniometric study of walking in high heels.
Res. Q. Exercise Sport 35, 370 - 378

GRIEVE, D.W. (1969): The assessment of gait.
Physiotherapy 55, 452 - 460

GRIEVE, D.W., D. LEGGETT u. B. WETHERSTONE (1978):
The analysis of normal stepping movements as a possible basis for locomotor assessment of the lower limbs.
J. Anat. 127, 515 - 532

GUSTAFSSON, P.O. (1969): The effect of estradiol on the early postnatal development of the acetabulum in the beagle.
Clin. Orthop. 62, 65 - 69

GUSTAFSSON, P.O., H. KASSTROEM, S.E. OLSSON u. K. SUZUKI: (1972): Growth and remodeling of the hip joint and proximal femur in adolescent dogs. An investigation with special reference to hip dysplasia and estradiol induced changes.
Acta Radiol. Suppl. Stockholm 319, 3-5

HACKENBROCH, M.H. (1982): Degenerative Gelenkerkrankungen.
In: A.N. WITT, H. RETTIG, K.F. SCHLEGEL, M. HACKENBROCH u. W. HUPFAUER (Hrsg.): Orthopädie in Praxis und Klinik. 2. Aufl., Bd. 4, Thieme Verlag Stuttgart, New York, S. 1 - 63

HARTUNG, K. (1966): Zur Hüftgelenksdysplasie.
Berl. Münch. tierärztl. Wochenschr. 79, 477 - 480

HEDHAMMAR, A., F.-M. WU, L. KROOK, H.F. SCHRYVER, A. de LAHUNTA, J.P. WHALEN, F.A. KALLFELZ, E.A. NUNEZ, H.F. HINTZ, B.E. SHEFFY u. G.D. RYAN (1974): Overnutrition and skeletal disease. An experimental study in growing great dane dogs.
Cornell Vet. 64, Suppl. 5

HENRICSON, B. (1967): Statistische und genetische Untersuchungen über Hüftgelenksdysplasie beim Hund.
Kleintierpraxis 12, 187 - 189

HILDEBRAND, M. (1968): Symmetrical gaits of dogs in relation to body build.
J. morphol. 124, 353 - 360

HORN, V. (1956): Die Lokomotion des Hundes.
In: Kynologischer Weltkongreß 1956, Westfalendruck, Dortmund, S. 53 - 74

HUTTON, W.C., M.A.R. FREEMAN u. S.A.V. SWANSON (1969): The forces exerted by the pads of the walking dog.
J. Small Anim. Pract. 10, 71 - 77

JENNY-GREDIG, V. (1970): Zur züchterischen Bekämpfung der Hüftgelenksdysplasie beim deutschen Schäferhund. Zürich, Veterinärmed. Fak., Diss.

JOHNSTON, D.E. (1966): Hip dysplasia in the dog. Aust. vet. J. 42, 154 - 159

JOHNSTON, R.C., u. G.L. SMIDT (1969): Measurement of hip -joint motion during walking. J. Bone Joint Surg. (Am) 51, 1082 - 1094

KAMAN, C.H., u. H.R. GOSSLING (1967): A breeding program to reduce hip dysplasia in german shepherd dogs. J. Am. Vet. Med. Assoc. 151, 562 - 571

KARPOVICH, P.V., E.L. HERDEN u. M.M. ASA (1960): Electrogoniometric study of joints. U.S. Armed Forces med. J. 11, 424 - 450

KARPOVICH, P.V., u. G.P. KARPOVICH (1959): Electrogoniometer: A new device for study of joints in action (abstract) Fed. Proc. 18, Part 1, 79

KARPOVICH, P.V., u. L.B. WILKLOW (1959): A goniometric study of the human foot in standing and walking. U.S. Armed Forces med. J. 10, 885 - 903

KASSTRÖM, H. (1975): Estrogens, nutrition and hip dysplasia in the dog. Stockholm, Veterinarhogskolans, Diss.

KETTELKAMP, D.B., R.J. JOHNSON, G.L. SMIDT, E.Y.S. CHAO u. M. WALKER (1970): An electrogoniometric study of knee motion in normal gait. J. Bone Joint Surg. (Am) 52, 775 - 790

KIMURA, T., u. B. ENDO (1972): Comparison of force of foot between quadrupedal walking of dog and bipedal walking of man.
J. Fac. Sci. Univ. Tokyo Sect. V Anthropol. 4, 119 - 130

KINZEL, G.L., D.C. VAN SICKLE, B.M. HILLBERRY u. A.S. HALL (1976): Preliminary study of the in vivo motion in the canine shoulder.
Am. J. vet. Res. 37, 1505 - 1510

KLISSOURAS, V., u. P.V. KARPOVICH (1967): Electrogoniometric study of jumping events.
Res. Q. Exercise Sport 38, 41 - 48

KONIAR, M. (1968): The electrogoniographic method in the methodology of biomechanical research on human motion.
In: Biomechanics. Proceed. of the 1. Int. Seminar on Biomechanics, Zürich, 21.-23.8.1967
Karger, Basel, New York, S. 61 - 66
(Medicine and Sport, Vol. 2)

KOSUBEK, H.K. (1962): Untersuchungen über die Bewegungsvorgänge des Russischen Windhundes (Barsoi).
Gießen, Univ., Veterinärmed. Fak., Diss.

KRÜGER, W. (1939): Die Fortbewegung des Pferdes.
Parey Verlag, Berlin. Anleitungen der Dtsch. Ges. für Züchtungskunde 43.

LAMOREUX, L.W. (1971): Kinematic measurements in the study of human walking.
Bull. Prosthet. Res. 12, 3 - 84

LARCHÉ, W.-D. (1962): Der Einfluß mechanischer und funktioneller Faktoren auf das Angehen des Hundes.
Gießen, Univ., Veterinärmed. Fak., Diss.

LARSEN, J.S. (1973): Report on canine hip dysplasia.
J. Am. Vet. Med. Assoc. 162, 662 - 668

LEACH, D., G. SUMNER-SMITH u. A.I. DAGG (1977): Diagnosis of lameness in dogs: A preliminary study.
Can. vet. J. 18, 58 - 63

LOEFFLER, K. (1964): Gelenkanomalien als Problem in der Hundezucht.
DTW 71, 291 - 297

LOEFFLER, K. (1979): Hüftgelenksdysplasie beim Hund. Probleme bei der Röntgendiagnose.
Tierärztl. Prax. 7, 229 - 238

LUST, G., P.H. CRAIG, J.C. GEARY u. G.E. ROSS (1972): Changes in pelvic muscle tissues associated with hip dysplasia in dogs.
Am. J. vet. Res. 33, 1097 - 1108

LUST, G., P.W. FARRELL, B.E. SHEFFY u. L.D. VAN VLECK (1978): II. An improved procedure for genetic selection against hip dysplasia in dogs.
Cornell Vet. 68, Suppl. 7, 41 - 47

LUST, G., J.C. GEARY u. B.E. SHEFFY (1973): Development of hip dysplasia in dogs.
Am. J. vet. Res. 34, 87 - 91

LUST, G., u. B.A. SUMMERS (1981): Early, asymptomatic stage of degenerative joint disease in canine hip joints.
Am. J. vet. Res. 42, 1849 - 1855

MAHNIG, R. (1968): Untersuchungen zur Diagnostik der Hüftgelenksdysplasie bei Hunden.
Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.

MANSSON, J., u. I. NORBERG (1961): Dysplasia of the hip in dogs. Hormomally induced flaccidity of the ligaments followed by dysplasia of the acetabulum in puppies. Medlemsbl. Sverig. Vet. Forb. 13, 330-332, 335-339 Ref. in: J. Small Anim. Pract. 3, S. 45 (1962)

MAREY, E.-J. (1894): Le mouvement. Masson, Editeur, Paris

MASON, T.A. (1976): A review of recent developments in hip dysplasia. Aust. Vet. J. 52, 555 - 560

MÜLLER, L.F. (1979): Zum Stande der Hüftgelenksdysplasie -Bekämpfung. Report. Effem-Forschung für Kleintiernahrung 9, 9 - 15

MÜLLER, L.F., u. Chr. SAAR (1966): Eine Anleitung zur Röntgen-Diagnose der Hüftgelenksdysplasie. Kleintierpraxis 11, 33 - 64

MUYBRIDGE, E. (1957): Animals in motion. Dover Publications, New York

NIEBERLE u. P. COHRS (1970): Lehrbuch der speziellen pathologischen Anatomie der Haustiere. 5. Aufl., Bd. 2, Fischer Verlag, Jena, S. 1064

NIEMAND, H.G. (1980): Praktikum der Hundeklinik. 4. Aufl., Parey Verlag, Berlin, Hamburg

NOMURA, S., H. SAWAZAKI u. T. IBARAKI (1966 a): Co-operated muscular action in postural adjustment and motion in dog, from the view point of electromyographic kinesiology and joint mechanics. IV. About muscular activity in walk and trot. Jpn. J. Zootech. Sci. 37, 221 - 229

NOMURA, S., H. SAWAZAKI u. T. IBARAKI (1966 b): Co-operated muscular action in postural adjustment and motion in dog, from the view point of electromyographic kinesiology and joint mechanics.
V. Mechanical analysis on the movement of main joints in the limb.
Jpn. J. Zootech. Sci. 37, 260 - 272

NORBERG, I. (1965): Diagnostik und Pathologie.
In: B. HENRICSON, I. NORBERG u. S.E. OLSSON (1965): Hüftgelenksdysplasie beim Hund.
Nord. Vet. Med. 17, 118 - 131

OLSSON, S.E. (1981): Gelenkleiden bei Hunden als Folge von Entwicklungsstörungen.
In: 26. Jahrestagung d. Dtsch. Vet. Med. Ges., Fachgruppe Kleintierkrankheiten, 13.-15.11.1980 in Karlsruhe.
Gießen: Dtsch. Vet. Med. Ges., S. 111 - 130

OTTE, P. (1969): Das Wesen der Coxarthrose und die Prinzipien ihrer Behandlung.
Dtsch. med. J. 20, 341 - 346
zit. nach HACKENBROCH, M.H. (1982)

OTTE, P. (1974): Pathophysiologische Grundlagen präarthrotischer Faktoren.
Z. Orthop. 112, 541 - 547
zit. nach HACKENBROCH, M.H. (1982)

PAATSAMA, S., P. RISSANEN u. P. ROKKANEN (1968): Changes in the hip joint induced with certain hormones.
An experimental study on young dogs.
J. Small Anim. Pract. 9, 433 - 440

PERSON, R.S., u. N.A. ROSHCHINA (1957): Electromyographic investigation on co-ordination of antagonistic muscular activity in movements of the fingers. Sechenov Physiol. J. USSR 44, 419 - 426

PIERCE, K.R., u. C.H. BRIDGES (1967): The role of estrogens in the pathogenesis of canine hip dysplasia. Metabolism of exogenous estrogens. J. Small Anim. Pract. 8, 383 - 389

PIERCE, K.R., C.H. BRIDGES u. W.C. BANKS (1965): Hormone induced hip dysplasia in dogs. J. Small Anim. Pract. 6, 121 - 126

RATZLAFF, M.H., M. ADRIAN, B.D. GRANT, C. FEENEY-DIXON u. N. MENTZEL (1979): The use of electrogoniometry to evaluate the effects of drugs on locomotion: A preliminary report. In: Proceedings of the Third International Symposium on Equine Medication Control, Lexington, Kentucky, 12.-14. June 1979, S. 397 - 419

RATZLAFF, M.H., B.D. GRANT u. M. ADRIAN (1982): Quantitative evaluation of equine carpal lamenesses. Equine vet. Sci. 2/3, 78 - 88

RISER, W.H. (1963): A new look at developmental subluxation and dislocation: Hip dysplasia in the dog. J. Small Anim. Pract. 4, 421 - 434

RISER, W.H. (1974): Canine hip dysplasia: Cause and control. J. Am. Vet. Med. Assoc. 165, 360 - 362

RISER, W.H. (1975): The dog as a model for the study of hip dysplasia. Karger Verlag, Basel, München, Paris, New York, Sydney, S. 279 - 334

RISER, W.H., u. J.S. LARSEN (1974): Influence of breed somatotypes on prevalence of hip dysplasia in the dog.
J. Am. Vet. Med. Assoc. 165, 79 - 81

RISER, W.H., u. C.D. NEWTON (1981): Canine hip dysplasia as a disease.
In: M.J. BOJRAB (Hrsg.): Pathophysiology in small animal surgery.
Verlag Lea u. Febiger, Philadelphia, S. 618 - 624

RISER, W.H., u. J.F. SHIRER (1967): Correlation between canine hip dysplasia and pelvic muscle mass: A study of 95 dogs.
Am. J. vet. Res. 28, 769 - 777

ROY, W.E. (1971): Examination of the canine locomotor system.
Vet. Clin. North Am. (Small Anim. Pract.) 1,
S. 53 - 70

SCOLNICK, A. (1967): An electrogoniometric and cinematographic analysis of the arm action of expert basketball jump shooters.
Springfield, Massachusetts, Springfield College, Diss.

SNAVELY, J.G. (1959): The genetic aspects of hip dysplasia in dogs.
J. Am. Vet. Med. Assoc. 135, 201 - 207

SCHALES, O. (1957): Heredity patterns in dysplasia of the hip.
North Am. Vet. 38, 152 - 155

SCHÄME, R. (1926): Die Trabformen des Hundes.
Hund 20, 665 - 669

SCHÄME, R. (1932): Von den Gangarten des Hundes.
Zeitschrift für Hundeforschung 2, 55 - 70

SCHEBITZ, H., u. W. ZEDLER (1961): Die Arthrosis deformans des Hüftgelenkes beim Hund.
DTW 68, 41 - 48

SCHLAAF, S. (1975): Der Einfluß der Statik auf die Hüftgelenkdysplasiehäufigkeit.
Der Hund 4, 8 - 11

SCHNEPF, A. (1976): Zur Beurteilung der Hüftgelenksdysplasie des Hundes.
München, Ludwig-Maximilians Univ., Fachber. Veterinärmed., Diss.

SCHUBERTH, G. (1980): Diagnostik und Therapiekontrolle von Schilddrüsenerkrankungen mit Hilfe des radiologischen Res-O-Mat ETR Testes beim Hund und die Beurteilung von schilddrüsenabhängigen Knochenstoffwechselstörungen am Beispiel der Hüftgelenksdysplasie.
München, Ludwig-Maximilians Univ., Tierärztl. Fak., Diss.

SCHWARZ, S. (1971): Die Methoden der röntgenologischen Diagnose der Hüftgelenksdysplasie beim Hund und ihre Eignung als Grundlage für geplante züchterische Selektion.
Gießen, Univ., Veterinärmed. Fak., Diss.

STANIČ, U., T. BAJD, V. VALENČIČ, M. KLJAJIĆ u. R. AČIMOVIĆ (1977): Standardization of kinematic gait measurements and automatic pathological gait pattern diagnostics.
Scand. J. Rehab. Med. 9, 95 - 105

TAYLOR, B.M., C.M. TIPTON, M. ADRIAN u. P.V. KARPOVICH (1966): Action of certain joints in the legs of the horse recorded electrogoniometrically.
Am. J. vet. Res. 27, 85 - 89

TIPTON, C.M., u. P.V. KARPOVICH (1965): Electrogoniometric records of knee and ankle movements in pathologic gaits.
Arch. Phys. Med. Rehabil. 46, 267 - 272

TOKURIKI, M. (1973 a): Electromyographic and joint-mechanical studies in quadrupedal locomotion. I Walk.
Jpn. J. vet. Sci. 35, 433 - 446

TOKURIKI, M. (1973 b): Electromyographic and joint-mechanical studies in quadrupedal locomotion. II. Trot.
Jpn. J. vet. Sci. 35, 525 - 533

VELDEN, N.A. van der (1971): De bestrijding van heudysplasie bij de hond door middel van selektie.
Hondenwereld 26, 94 - 95

WALTER, K. (1925): Der Bewegungsablauf an den freien Gliedmaßen des Pferdes im Schritt, Trab und Galopp.
Arch. wiss. prakt. Tierheilkd. 53, 316 - 352

WENTINK, G.H. (1976): The action of the hind limb musculature of the dog in walking.
Acta anat. 96, 70 - 80

WENTINK, G.H. (1977): Biokinetical analysis of hind limb movements of the dog.
Anat. Embryol. (Berl.) 151, 171 - 181

WIENRICH, V. (1973): Untersuchungen zur Ätiologie, Verbreitung und Bekämpfung der Hüftgelenksdysplasie des Hundes am Beispiel des Hovawart unter besonderer Berücksichtigung der Frage der Erblichkeit der Krankheit.
Berlin, Humbold-Univ., Veterinärmed. Fak., Diss.

WOLF, H. (1972): Der Einfluß der Hinterhandwinkelung auf die Hüftgelenksdysplasie des Hundes.
Berlin, Humboldt-Univ., Biowissenschaftl. Fak., Diss.

ZUSCHNEID, K. (1977): Zur Hüftgelenksdysplasie beim Deutsch -Drahthaarigen Vorstehhund.
Berl. Münch. tierärztl. Wochenschr. 90, 409 - 414

9. Tabellenanhang

Erläuterungen zu den nachfolgenden Tabellen:

max. Beug. = Winkel zum Zeitpunkt der maximalen Beugung in der Schwingphase.

max. Streck. = Winkel zum Zeitpunkt der maximalen Streckung.

Max. a = Streckungsmaximum im Sprunggelenk zum Zeitpunkt Fußen.

Max. b = Streckungsmaximum im Sprunggelenk zum Zeitpunkt Abheben.

Max. c = Streckungsmaximum im Kniegelenk am Ende der Schwingphase.

Max. d = Streckungsmaximum im Kniegelenk gegen Ende der Fußungsphase.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
18.04.80	110	140	132	168	125	162	154
19.04.80	105	139	128	163	121	163	157
19.04.80	107	140	136	169	140	174	171
20.04.80	104	139	126	163	126	164	157
22.05.80	107	145	127	161	115	144	143
22.05.80	110	146	131	163	120	148	148

Anhangstab. 1: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Anke (HD-frei) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 2°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
18.04.80	122	154	126	165	125	157	153
19.04.80	113	145	126	162	125	157	155
19.04.80	124	157	134	168	141	170	166
20.04.80	121	155	129	163	128	161	155
22.05.80	120	150	125	158	122	155	145
22.05.80	122	152	131	165	130	162	158

Anhangstab. 2: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Anke (HD-frei) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 2°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
12.07.80	96	129	118	160	128	165	159
15.07.80	90	126	120	160	120	157	153
15.07.80	91	131	118	161	120	161	159
17.07.80	94	129	119	167	126	172	170
21.07.80	91	127	120	162	122	167	165
21.07.80	94	132	121	164	128	172	168

Anhangstab. 3: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Lümmel (HD-frei) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
12.07.80	96	132	112	154	114	150	146
15.07.80	93	135	116	155	111	148	148
15.07.80	96	141	118	162	121	162	165
17.07.80	90	130	108	149	110	144	145
21.07.80	91	131	110	149	111	151	155
21.07.80	96	136	117	158	117	158	156

Anhangstab. 4: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Lümmel (HD-frei) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 2°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
13.05.80	98	132	138	163	122	157	160
14.05.80	98	133	128	161	125	154	159
14.05.80	99	134	126	160	121	151	153
17.06.80	91	127	129	163			
22.06.80	93	130	120	157	129	156	159
22.06.80	98	137	121	157	120	152	156

Anhangstab. 5: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Aspe (HD-frei) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
13.05.80	105	137	128	159	120	149	150
14.05.80	104	136	118	154	116	139	143
14.05.80	108	143	123	160	126	154	158
17.06.80	101	138	119	146	134	151	155
22.05.80	101	139	118	149	117	136	141
22.05.80	103	142	122	155	125	153	158

Anhangstab. 6: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Aspe (HD-frei) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
05.05.80	91	125	114	152	128	157	164
05.05.80	94	130	127	164	137	165	171
06.05.80	93	130	123	161	129	159	166
06.05.80	97	133	124	165	134	167	170

Anhangstab. 7: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Quick (HD-frei) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
05.05.80	103	132	113	155	131	161	164
05.05.80	106	138	122	163	150	173	177
06.05.80	101	134	113	154	136	167	168
06.05.80	103	136	119	156	140	167	171

Anhangstab. 8: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Quick (HD-frei) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 2°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
08.11.80	95	125	125*)	169	133*)	166	169
09.11.80	89	124	128	171	139*)	167	172
09.11.80	91	125	129	166	141*)	164	170
11.11.80	93	124	127	167	144	170	175

Anhangstab. 9: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Terra (HD-frei) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$. *) $s = 4°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
08.11.80	99	129	125	166	127	159	159
09.11.80	98	130	127	164	133*)	161	163
09.11.80	96	134	129	168	134	162	167
11.11.80	101	136	127	164	130*)	156	160

Anhangstab. 10: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Terra (HD-frei) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$. *) $s = 4°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
29.03.80	94	138	104	154	94	133	143
30.03.80	87	132	101	157	100	152	163
03.04.80	92	137	112	157	104	157	164
06.04.80	90	136	106	156	104	148	154
07.04.80	91	137	102	151	93	135	143

Anhangstab. 11: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Anka (HD III) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben, s ≤ 3°.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
29.03.80	108	140	100	156			
30.03.80	106	145	102	161	99	153	160
03.04.80	108	145	105	155			
06.04.80	101	144	101	148	105	150	154
07.04.80	105	147	101	151	87	135	143

Anhangstab. 12: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Anka (HD III) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
03.08.80	89	119	131*)	165	126	156	175*)
10.08.80	87	119	124	166	126	161	175
09.09.80	84	123	125	166	120	153*)	177
11.09.80	80	119	118	165*)	111	153*)	173
14.09.80	79	112	116	155	109	141*)	166
18.09.80	84	122	124	166	121	155	178

Anhangstab. 13: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Cord (HD III-IV) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$. *) $s = 4°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
03.08.80	88	120	123	155	125	140	155
10.08.80	83	122	115	146	125	144	169
09.09.80	83	131	121	162	124	148	169
11.09.80	74	122	109	147	122	146	167
14.09.80	74	112	111	154	126	151	170
18.09.80	84	130	122	164	130	156	175

Anhangstab. 14: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Cord (HD III-IV) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. s ≤ 3°.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
06.09.79	96	131	137	168	126	149	155
06.09.79	101	133	138	165	137	156	161
07.09.79	94	131	135	164	135	156	159
10.09.79	90	130	133	164	137	163	169
10.09.79	95	134	131	157	137	150	159

Anhangstab. 15: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Axel (HD I) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. s ≤ 2°.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
06.09.79			127	170	120	148	157
06.09.79	102	142	128	164	130	153	164
07.09.79	97	138	127	165	139	154	162
10.09.79	94	138	124	160	134	150	158
10.09.79	91	131	126	163	117	146	153

Anhangstab. 16: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Axel (HD I) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
21.09.79	94	139	125	167	106	155	165
24.09.79	93	142	125	167	100	139*)	155
24.09.79	96	141	132	168	128	154	164
26.09.79	90	140	122	160	117	143	158
26.09.79	96	141	133	170	121	148	161
11.05.80	99	135	135	169	139	173	178
11.05.80	96	137	135	174	130	173	177

Anhangstab. 17: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Ass (HD I) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3^{\circ}$. *) $s = 4^{\circ}$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
21.09.79	95	142	114	161			
24.09.79	93	139	114	162	118	154	161
26.09.79	93	141	119	162			
11.05.80	103	143	123	163	132	161	166
11.05.80	102	140	130	168	138	164	174

Anhangstab. 18: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Ass (HD I) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3^{\circ}$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
14.09.79	85	122	112	155	123	147	159
14.09.79	88	127	123	162	126	153	165
19.09.79	84	123	115	155	121	147	161
27.11.79	96	148	114	157	103	134	153
27.11.79	90	131	104	143	102	126	148

Anhangstab. 19: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Alf (HD III-IV) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
14.09.79	89	138	98	146	103	140	157
14.09.79	94	141	111	152	112	136	154
19.09.79	92	140	102	147	107	135	153
27.11.79	92	149	108	159	105	140	158
27.11.79	90	142	98	142	111	133	160

Anhangstab. 20: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Alf (HD III-IV) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
24.06.80	83	130	119	156	117	145	166
24.06.80	85	134	127	159	130	150	171
26.06.80	86	134	126	155	126	148	168
28.06.80	85	126	130	163	129	157	172
01.07.80	81	128	126	159	127	156	171

Anhangstab. 21: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Arko (HD III-IV) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben, $s \leq 3°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
24.06.80	89	137	113	153	115	137	155
24.06.80	92	142	117	154	116	137	155
26.06.80			118	156	118	145	159
28.06.80			116*)	153	119	143	162
01.07.80	84	140	112	151	112	136	155

Anhangstab. 22: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Arko (HD III-IV) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$. *) $s = 4°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
28.11.80	83	124	105	158	105	146	157
29.11.80	91	130	121	167	119	158	165
04.12.80	87	126	108	154	109	146	150
05.12.80	91	129	122	166	119	162	171

Anhangstab. 23: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Asta (HD III-IV) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
28.11.80	93	139	106	160	99	144	150
29.11.80	102	146	125	174	114	156	162
04.12.80	96	141	108	155	106*)	148	156
05.12.80	98	144	121	170	116*)	160	167

Anhangstab. 24: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Asta (HD III-IV) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$. *) $s = 4°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
28.11.80	88	136	113	164	116	148	156
29.11.80	98	141	119	167	122	150	159
04.12.80	95	138	121	166	133	158	166
05.12.80	90	131	116	163	124	155	163

Anhangstab. 25: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Amsel (HD III-IV) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk		Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
28.11.80	92	139	112	158	109	141	150
29.11.80	96	139	114	155	116	142	152
04.12.80	97	138	117	156	123	150	158
05.12.80	99	142	114	155	113	143	154

Anhangstab. 26: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Amsel (HD III-IV) im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 0,9 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
18.04.80	102	139	104	173	152	104	175	155
19.04.80	99	140	96	166	147	94	173	157
19.04.80	97	137	103	170	154	112	178	170
20.04.80	95	137	95	167	145	102	175	156
22.05.80	102	143	101	164	151	99	157	145
22.05.80	103	145	100	164	154	103	159	149

Anhangstab. 27: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Anke (HD-frei) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 2°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
18.04.80	117	151	100	165	151	104	168	150
19.04.80	105	144	94	160	152	98	167	158
19.04.80	110	152	102	169	155	110	176	164
20.04.80	112	154	100	164	153	101	169	153
22.05.80	112	148	98	156	146	103	156	142
23.05.80	113	148	103	165	153	109	164	161

Anhangstab. 28: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Anke (HD-frei) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. s ≤ 3°.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
12.07.80	91	131	97	159	152	103	163	167
15.07.80	86	130	98	157	154	100	154	161
15.07.80	87	134	98	159	157	100	161	165
17.07.80	89	133	102	165	159	103	172	175
21.07.80	89	129	101	163	156	101	169	168
21.07.80	91	133	100	163	158	105	172	174

Anhangstab. 29: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Lümmel (HD-frei) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 2°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
12.07.80	92	129	90	157	142	93	154	147
15.07.80	91	135	92	155	148	91	148	148
15.07.80	91	138	96	162	157	99	162	162
17.07.80	89	128	90	151	140	94	149	147
21.07.80	91	130	87	153	144	94	156	154
21.07.80	94	134	94	158	150	96	160	157

Anhangstab. 30: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Lümmel (HD-frei) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 2°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
13.05.80	94	132	118	171	156	98	166	165
14.05.80	95	135	101	168	160	100	159	164
14.05.80	97	134	102	166	160	104	156	160
17.06.80	91	127	108	171	160			
22.06.80	94	129	99	161	151	116	160	165
22.06.80	100	136	104	161	158	112	157	162

Anhangstab. 31: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Aspe (HD-frei) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max.. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
13.05.80	102	136	113	162	154	102	157	156
14.05.80	101	133	105	158	149	97	152	147
14.05.80	106	141	110	164	160	104	159	164
17.06.80	97	135	99	151	148	115	156	159
22.06.80	101	138	101	156	149	101	146	145
22.06.80	106	140	105	162	156	111	157	163

Anhangstab. 32: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Aspe (HD-frei) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
05.05.80	88	128	97	163	142	115	169	169
05.05.80	89	130	108	172	156	123	169	174
06.05.80	88	132	105	169	154	115	169	172
06.05.80	93	132	106	172	155	120	175	171

Anhangstab. 33: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Quick (HD-frei) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
05.05.80	97	135	89	169	144	117	178	168
05.05.80	98	137	100	170	148	136	179	174
06.05.80	92	134	88	163	140	116	175	167
06.05.80	97	137	99	168	146	124	173	170

Anhangstab. 34: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Quick (HD-frei) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
08.11.80	86	124	107	179	155	116	174	173
09.11.80	83	125	110	177	161	119	173	174
09.11.80	83	123	111	175	159	121	168	170
11.11.80	84	124	105	173	158	122	175	176

Anhangstab. 35: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Terra (HD-frei) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
08.11.80	92	132	110	172	152	114	166	163
09.11.80	88	134	110	170	156	117	167	166
09.11.80	90	135	115	171	158	124	166	168
11.11.80	92	135	113	170	156	117	162	161

Anhangstab. 36: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Terra (HD-frei) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. s ≤ 2°.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
29.03.80	91	136	84	160	146	79	137	146
30.03.80	86	133	87	168	152	90	167	167
03.04.80	92	138	96	161	146	86	169	166
06.04.80	91	136	95	168	146	91	155	160
07.04.80	90	133	90	163	140	80	154*)	146

Anhangstab. 37: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Anka (HD III) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$. *) $s = 4°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
29.03.80	105	138	82	157	141			
30.03.80	104	144	90	165**)	144	88	167	166
03.04.80	108	143	90	163*)	136			
06.04.80	101	141	88	158	135	90	158	157
07.04.80	103	147	86	159	137	75	137	144

Anhangstab. 38: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Anka (HD III) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$. *) $s = 4°$.
**) $s = 5°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
03.08.80	85	124	93	174	161	86	161	172
10.08.80	84	128	92	176	166	95	166	175
09.09.80	84	130	89	178	165	89	166	173
11.09.80	83	127	89	176	163	90	162	172
14.09.80	80	123	86	164	157	82	148	167
18.09.80	83	128	87	176	164	85	167	174

Anhangstab. 39: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Cord (HD III-IV) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben, $s \leq 3°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
03.08.80	76	123	80	164*)	151	88	137	151
10.08.80	79	135	77	173	163	92	156	162
09.09.80	79	134	77	175	163	87	155	162
11.09.80	74	128	73	165	153	92	150	161
14.09.80	74	124	82	162	157	94	149	167
18.09.80	82	137	89	169	165	100	153	168

Anhangstab. 40: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Cord (HD III-IV) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. s ≤ 3°. *) s = 4°.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
06.09.79	84	135	108	167	166	101	145	159
06.09.79	88	136	110	166	163	120	154	165
07.09.79	84	133	103	165	163	115	162	173
10.09.79	90	134	109	164	158	131	158	167

Anhangstab. 41: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Axel (HD I) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
06.09.79			107	172	170	104	147	158
06.09.79	92	138	104	167	163	110	150	162
07.09.79	87	137	98	160	162	113	147	159
10.09.79	87	135	110	174	170	108	149	158

Anhangstab. 42: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Axel (HD I) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
21.09.79	84	146	105	167	171			
24.09.79	87	147	107	172	172	93	139	155
24.09.79	87	143	109	169	169	111	151	165
26.09.79	85	143	104	166	167	109	147	162
26.09.79	88	143	109	168	169	111	147	158
11.05.80	89	136	116	172	164	115	177	179
11.05.80	85	137	118	175	172	111	177	178

Anhangstab. 43: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Ass (HD I) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3^{\circ}$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
21.09.79	87	146	100	161	166			
24.09.79	86	139	96	160	164	112	153	165
26.09.79	85	144	99	158	165			
11.05.80	93	143	103	168	162	115	171	167
11.05.80	91	145	105	169	167	115*)	167	169

Anhangstab. 44: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Ass (HD I) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$. *) $s = 4°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
14.09.79	76	124	87	158	148	100	147*)	159
14.09.79	80	130	95	166	157	104	153	162
19.09.79	78	128	87	163	151	99	154*)	164
27.11.79	90	154	90	161	163	87	135	156
27.11.79	83	134	81	145	143	83	121**)	146

Anhangstab. 45: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Alf (HD III-IV) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. s ≤ 3°. *) s = 4°.
**) s = 5°.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
14.09.79	85	144	88	148	155	83***)	132*)	157
14.09.79	91	144	95	152	154	96	133**)	154
19.09.79	89	140	84	152	150	90	134*)	150
27.11.79	87	158	93	155	169	87	130	160
27.11.79	83	145	80	142*)	151	93	125**)	158

Anhangstab. 46: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Alf (HD III-IV) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben.
$s \leq 3°$. *) $s = 4°$. **) $s = 5°$. ***) $s = 6°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
24.06.80	80	134	99	168*)	164	99	157**)	172
24.06.80	82	135	106	169	165	108	161	172
26.06.80	82	135	103	170	164	103	162	172
28.06.80	84	130	105	173	165	103	173	174
01.07.80	79	130	105	174	165	105	171	175

Anhangstab. 47: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Arko (HD III-IV) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$. *) $s = 4°$.
**) $s = 5°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
24.06.80	85	141	89	160*)	158	94	143*)	154
24.06.80	91	143	98	159	158	98	139	154
26.06.80			98	162	163	101	153	164
28.06.80			100	161	164	106	150	162
01.07.80	82	138	98	160	159	99	141	154

Anhangstab. 48: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Arko (HD III-IV) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$. *) $s = 4°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
28.11.80	80	125	85	166	141	83	148*)	158
29.11.80	81	130	90	166*)	149	85	151	160
04.12.80	81	129	83	160	139	85	148	148
05.12.80	82	127	91	167	149	87	156	164

Anhangstab. 49: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Asta (HD III-IV) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$. *) $s = 4°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
28.11.80	91	146	87	165	144	79	146*)	146
29.11.80	93	150	95	172	155	79	152	154
04.12.80	93	144	90*)	162	148	82	150	157
05.12.80	91	146	95	163	152	82	152	159

Anhangstab. 50: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Asta (HD III-IV) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$. *) $s = 4°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
28.11.80	82	136	94	170	159	97	154	164
29.11.80	85	142	90	170	156	93	148	163
04.12.80	85	141	96	168	157	107	157	168
05.12.80	79	134	96	166	155	104	157	165

Anhangstab. 51: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Amsel (HD III-IV) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Rechtes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. $s \leq 3°$.

Datum	Hüftgelenk		Kniegelenk			Sprunggelenk		
	max. Beug.	max. Streck.	max. Beug.	Max. c	Max. d	max. Beug. Schwingphase	Max. a	Max. b
28.11.80	86	144	97	167*)	156	93	154*)	159
29.11.80	85	143	93	166*)	148	92	144	156
04.12.80	87	142	96	168	150	99	159	160
05.12.80	87	144	98	169	153	96	156	164

Anhangstab. 52: Zusammenstellung der gemessenen Winkel in Grad vom Versuchshund Amsel (HD III-IV) im Trab bei einer Geschwindigkeit von 2,47 m/sec. Linkes Hinterbein.
Mittelwerte aus jeweils 20 Stichproben. s ≤ 3°. *) s = 4°.

Herrn Prof. Dr. A. Bayer danke ich für die geduldige Betreuung meiner Arbeit und die stets gewährte technische Hilfe, besonders für die Reparatur des Laufbandes.

Herrn Dr. Karl Zuschneid gilt mein Dank für die Anregung des Themas, seine tatkräftige Unterstützung bei der Beschaffung und Betreuung der Hunde und für seine hilfreiche Beratung.

Herrn Prof. Dr. E. Schäffer und Herrn Prof. Dr. G. Wittke danke ich für ihre stets bereitwillige Unterstützung.

Bei Frau Plaumann bedanke ich mich für die Anfertigung der Photographien und Zeichnungen.

Den Mitarbeitern der WE 11, Fachrichtung Biometrie, gilt mein Dank für die Beratung in statistischen Fragen und für die Möglichkeit, mein umfangreiches Datenmaterial mit Hilfe des Rechners zusammenfassen zu können.

Meinen herzlichen Dank auch den Hundeführern des Vereins Deutsch-Drahthaar, die mir ihre Hunde bereitwillig zur Verfügung stellten.

L E B E N S L A U F

1951	15.8. geboren in Hamburg Vater: Dr. med. Franz Workert, prakt. Arzt Mutter: Dipl. rer. pol. Ursula Workert, geb. Walther
1958 - 1962	Besuch der katholischen Gemeindeschule in Hamburg-Altona (Grundschule)
1962 - 1970	Besuch des "Gymnasiums für Jungen und Mädchen Willhöden" in Hamburg-Blankenese
1970	Abitur
1971 - 1972	Biologiestudium an der Hamburger Universität
1972 - 1977	Studium der Veterinärmedizin an der Freien Universität Berlin
Mai 1977	Tierärztliche Prüfung
Juni 1977	Approbation als Tierärztin
WS 1977/78	Lehrauftrag am Institut für Veterinär-Anatomie der Freien Universität Berlin
1978	Vertretungen in Berliner Kleintierpraxen
1979 - 1984	Doktorandin am Institut für Veterinär-Physiologie der Freien Universität Berlin und gleichzeitig wissenschaftliche Mitarbeiterin